

**SISTEMA AUTOMATICO DE APOYO A LA GESTIÓN DE
PAVIMENTOS EN VÍAS RURALES DE PRIMER ORDEN EN
COLOMBIA (SAAGEP)**

Tesis de pregrado para optar título de ingeniero de sistemas

AUTOR

LUIS FERNANDO MACEA M



**UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA DE SISTEMAS**

Montería, Córdoba, Colombia

Junio de 2014

**SISTEMA AUTOMATICO DE APOYO A LA GESTIÓN DE
PAVIMENTOS EN VÍAS RURALES DE PRIMER ORDEN EN
COLOMBIA (SAAGEP)**

Tesis de pregrado para optar título de ingeniero de sistemas

AUTOR

LUIS FERNANDO MACEA M

ASESOR

IS. MSc. MILTON HERNANDEZ ZAKZUK



**UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA DE SISTEMAS**

Montería, Córdoba, Colombia

Junio de 2014

TABLA DE CONTENIDO

1. OBJETIVOS	4
1.1. Objetivo general	4
1.2. Objetivos específicos	4
2. INTRODUCCIÓN	5
3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	9
3.1. ANTECEDENTES	9
3.1.1. Metodologías de gestión relacionadas con el estado de las vías	9
3.1.2. Metodologías aplicadas en Colombia para el mantenimiento de corredores viales.	13
3.1.3. La accidentalidad y su relación con el estado del pavimento.	15
3.1.4. La accidentalidad y su relación con la geometría de la carretera	17
3.2. MARCO CONCEPTUAL	18
4. DISEÑO METODOLÓGICO	23
4.1. Fases del proyecto	23
FASE I: Estudio, análisis e interpretación del sistema.	23
FASE II: Características del sistema	24
FASE III: Diseño e implementación del sistema	24
4.2. Metodología de desarrollo del producto	26
Diseño general del Sistema	26
Descripción la arquitectura del dispositivo.	26
Descripción del circuito desarrollado	28
Descripción de la arquitectura software	29
5. DESARROLLO	31
5.1. Sistema de activación por perturbación del dispositivo	31
5.2. Interconexión de los sistemas hardware y software del dispositivo.	32
5.3. Caso de aplicación	34
6. CONCLUSIONES	38
REFERENCIAS	40
ANEXOS	43
Anexo 1. Manual de usuarios	43
Anexo 2. Código del sistema	59

LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1. El proceso de la inspección vial, la calificación por estrellas y los planes de inversión para vías más seguras del iRAP</i>	10
<i>Figura 2. Vehículo equipado con equipos de alto rendimiento</i>	11
<i>Figura 3. Perfilador transversal</i>	11
<i>Figura 4. Fotografías tomadas y georeferenciadas al instante por las cámaras del vehículo.</i>	12
<i>Figura 5. Características del Arduino Uno.</i>	20
<i>Figura 6. Esquema de la placa Arduino Uno.</i>	22
<i>Figura 7. Sistema implementado</i>	23
<i>Figura 8. Diseño e implementación del circuito electrónico del sistema</i>	25
<i>Figura 9. Diagrama de secuencia</i>	26
<i>Figura 10. Arquitectura del dispositivo SAAGEP</i>	28
<i>Figura 11. Descripción del circuito electrónico</i>	29
<i>Figura 12. Diagramas de casos de usos</i>	30
<i>Figura 13. Diagrama de la clase principal implementada en el código</i>	31
<i>Figura 14. Sistema de activación por pulsador (SAPP)</i>	31
<i>Figura 15. Implementación del Sistema de activación por pulsador</i>	32
<i>Figura 16. Mecanismo de captura de información de campo</i>	33
<i>Figura 17. Montaje integral del dispositivo electrónico</i>	34
<i>Figura 18. Aplicación del dispositivo en 8.56 Km de recorrido</i>	35
<i>Figura 19. Capturas generadas por el dispositivo en caso de aplicación</i>	36
<i>Figura 20. Visualización de daños en los mapas generados</i>	37

LISTA DE TABLAS

<i>Tabla 1. Longitud de cada corredor del programa “Corredores de Mantenimiento Integral”.</i>	14
--	----

1. OBJETIVOS

1.1. *Objetivo general*

Diseñar e implementar un sistema electrónico de apoyo a la gestión de pavimentos en vías rurales de Colombia, que permita la generación de mapas de intervención en mantenimiento, a través del registro automático de daños presentes en tramos carreteros existentes, con su respectiva localización geográfica.

1.2. *Objetivos específicos*

- Diseñar un sistema hardware equipado con sensores, GPS, arduino uno y cámara fotográfica dentro de un vehículo, que genere señales de activación a partir de perturbaciones producidas por daños en el pavimento.
- Instalar y calibrar en un vehículo de muestra los dispositivos de hardware y software diseñados previamente en el proyecto para que capture en panorámica fotografías de daños en el pavimento y los guarde automáticamente con la localización geográfica.
- Programar la generación de mapas de intervención en mantenimiento, que incorporen la ubicación geográfica de los daños capturados con el dispositivo electrónico.
- Diseñar e Implementar un sistema integrado de administración de datos (SAD) que permita cargar, visualizar y gestionar la información de campo obtenida por el dispositivo electrónico a través de un entorno web.

2. INTRODUCCIÓN

El buen estado de la infraestructura vial de un país es de suma importancia, no solo por la relevancia que tiene al servir de medio para la movilización de mercancías, sino también por permitir la comunicación entre diferentes localidades. En ese sentido, la funcionalidad que deben ofrecer las carreteras de un país son cruciales para la seguridad y el confort de sus usuarios, así como para el adecuado desarrollo de los procesos de producción, por lo que ha convenido siempre una constante vigilancia del estado estructural y funcional de las mismas, dando paso con el tiempo a lo que se conoce como “*gestión de pavimentos*”, concepto que ha evolucionado en forma acelerada en los últimos años, combinando todas las actividades para proveer y administrar pavimentos, su objetivo básico ha sido utilizar información segura y consistente para desarrollar criterios de decisión, otorgar alternativas realistas y contribuir a la eficiencia en la toma de las decisiones, para así conseguir un programa de acción económicamente óptimo y en el cual se provea una retroalimentación de las consecuencias de las decisiones tomadas, como medio de asegurar su efectividad (Solminihaç, 2001).

Es claro que la gestión de pavimentos ha sido una actividad llamada a acompañar la preservación de caminos y calles con costos óptimos, de modo que puedan prestar el servicio para el cual fueron concebidos. Lamentablemente, ese objetivo no se está alcanzando en América Latina y en muchos países del mundo, estando las redes viales en un estado muy por debajo de lo que resulta deseable y conveniente. Graves consecuencias pesan sobre un país que tenga su red vial en mal estado. Diversos cálculos llevan a la conclusión que ello se traduce en sobre costos innecesarios de operación vehicular y en rehabilitaciones y reconstrucciones que podrían evitarse, que ascienden anualmente a cifras situadas entre 1% y 3% del Producto Interno Bruto (Bull, 2003).

Ahora bien, es posible generar programas racionales de gestión vial, pero para una red extensa de carreteras se hace imprescindible organizar la información y poseer criterios precisos para la evaluación y administración de las mismas, tales

como los descritos por Thenoux y Halles, (2011), quienes desarrollaron una metodología simplificada de conservación de pavimentos a nivel de red que requiere en primera instancia hacer un inventario de los daños existentes. Ahora bien, en caso de no existir un programa de gestión que se apoye en procesos objetivos de obtención de la información, se contaría entonces, solo con soluciones limitadas para el mantenimiento vial, lo cual, es de dudosa efectividad en las condiciones de restricción de presupuesto en que generalmente se trabaja, especialmente en países subdesarrollados como Colombia, donde es necesario hacer una adecuada planificación de los recursos financieros, que posibiliten intervenciones oportunas en los tramos carreteros que más lo requieren.

Para este fin en Colombia el Instituto Nacional de Vías (INVIAS) ha creado la figura de los Administradores Viales, quienes cumplen una función interventora que incluye la revisión y reporte periódico del estado de conservación de tramos específicos de carreteras en el país, a través de auditoría que básicamente cumplen dos criterios específicos: (1) Criterio Visual (subjetivo), que consiste en la categorización del estado de la vía en “Bueno”, “Regular” o “Malo”, de acuerdo a la percepción del administrador vial, lo que pone en tela de juicio la validez y objetividad de las decisiones tomadas en términos de prioridad de mantenimientos en el pavimento y (2) Criterio Técnico (objetivo), el cual consiste en el diligenciamiento de formatos, donde se identifican y miden fenómenos de deterioro tales como baches, fisuras, deformaciones, desprendimientos, ahuellamiento y desgaste, tanto en la calzada como en las bermas, las estructuras hidráulicas y los elementos de señalización (Bull, 2003, pág. 10), de igual forma, Colombia cuenta con un plan de gestión de pavimentos llamado sistema de administración de pavimentos (SAPCOL), éste fue desarrollado adaptando el sistema Belman de Dinamarca a las condiciones colombianas para carreteras con pavimentos flexible, no obstante, éste sistema requiere para su implementación capturar y manipular gran cantidad de información de campo, lo cual implica el consumo de grandes cantidades de tiempo en procesos de adquisición, archivo, búsqueda y utilización de datos para la toma de decisiones acertadas (Lopez Candela, 2010). Es claro que de la calidad de la información obtenida en campo dependerá la credibilidad y

confiabilidad otorgada a la asignación y priorización de recursos para mantenimiento, así como de las decisiones tomada en materia de gestión de pavimentos.

Ahora bien, algunas entidades internacionales como el Banco Mundial, se han dado cuenta de que una buena gestión de infraestructura es indispensable para el desarrollo tanto económico como social de las regiones, por lo que han hecho importantes inversiones en el desarrollo de sistemas computacionales de apoyo a los profesionales que realizan gestión de pavimentos (Solminhac, Hidalgo, Salgado, & Valdés, 2003) y que tienen como objetivo optimizar los recursos para lograr que las carreteras cumplan su función en un cien por ciento (100%), otras entidades como el caso del IRAP (International Road Assessment Program) de Inglaterra, se han enfocado en el desarrollo de metodologías de obtención de información de campo basados en tecnologías punta para la conformación de programas de evaluación de la seguridad en las carreteras, donde la validez de sus programas se fundamentan en un proceso riguroso de inspección sistematizada de las vías, donde se recoge información digital del estado actual de las carreteras utilizando un vehículo especial dotado con 4 cámaras de alta resolución, sistema GPS, equipo de cómputo, odómetro, y un técnico especialista (iRAP, 2009). Todos estos desarrollos representan importantes costos de contratación en consultorías que muy difícilmente son asumidos por países en vía de desarrollo, dadas las altas prioridades de inversión en asuntos como educación y salud entre otros. En consecuencia, es vital el desarrollo de tecnologías de bajo costo que permitan estudiar, analizar y comprender el comportamiento de todos los elementos de la infraestructura vial, donde el elemento básico sean los pavimentos, debido a la funcionalidad que cumple éste dentro de la operación de un camino, es éste el que entrega la superficie requerida para el desplazamiento de los diferentes medios de transporte, del pavimento dependen la mayoría de los costos de usuarios, así mismo es el pavimento el que requiere la mayor cantidad de recursos económicos y financieros tanto para su construcción como para su mantenimiento (Solminihac, 2001), de igual modo el desarrollo de tecnologías en la gestión de infraestructura vial, es fundamental para realizar labores de

diagnóstico y evaluación tanto preventivas como correctivas de mantenimiento vial que permitan prolongar la funcionalidad y servicio de las carreteras, en razón de esto, en el presente proyecto se documenta el desarrollo de una metodología de apoyo a la gestión de pavimentos de fácil acceso para los países en vía de desarrollo que va dirigido a darle mayor fuerza al criterio visual empleado por los administradores viales en Colombia dentro de sus valoraciones del estado actual del pavimento, dicho sistema se apoya en la fusión de conceptos de arquitectura de computadores y de sistemas operativos, así como en el empleo de la electrónica digital, para generar automáticamente registros objetivos del estado actual de la superficie del pavimento, así como la impresión en mapas de deterioro de gran precisión obtenidos con sistemas de posicionamiento global que especifican los puntos y tramos de carretera con requerimientos de intervención en mantenimiento, lo que posibilitará justificar acertadamente la toma de decisiones en torno a políticas de inversión en infraestructura vial, así como la optimización del recurso humano disponible para las labores de mantenimiento vial, ahorro de costos de operación en el registro de la información de campo y la eliminación de diagnósticos subjetivos de evaluación.

3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

3.1. ANTECEDENTES

3.1.1. Metodologías de gestión relacionadas con el estado de las vías

Algunas instituciones sin fines de lucro dedicadas a salvar vidas mediante vías más seguras como el International Road Assessment Programme (IRAP, 2013) han desarrollado protocolos que se usan de manera consistente en todo el mundo para evaluar y mejorar la seguridad de las vías a través de:

- a. Mapas de riesgo; elaborados con datos detallados de colisiones para precisar el número real de muertes y lesiones en una red vial.
- b. Calificación por estrellas; que permiten brindar una medición simple y objetiva del nivel de seguridad que provee el diseño de una vía.
- c. Rastreo del desempeño; sistema que posibilita el uso de la calificación por Estrellas y los Mapas de Riesgo para rastrear el desempeño de la seguridad vial y establecer posiciones de políticas.
- d. Planes de inversión para vías más seguras; basados en aproximadamente 70 opciones probadas para mejorar vías que produzcan infraestructuras asequibles y económicas que salven vidas.

Éste tipo de protocolos representa un enfoque sistemático para el diseño y renovación de la infraestructura vial basado en la investigación sobre dónde se estima y se prevé que ocurran colisiones severas, dicho modelo se basa en una calificación por estrellas que implica realizar una inspección de los elementos de la infraestructura vial que se sabe tienen un impacto en la probabilidad de que ocurra una colisión y en su nivel de gravedad. Se otorga entre 1 a 5 estrellas dependiendo del nivel de seguridad que posee una vía

Las vías más seguras (4 y 5 estrellas) tienen elementos de seguridad vial que son apropiados para las velocidades de tráfico actuales. Los elementos de la infraestructura vial en una carretera segura podrían incluir la separación del tráfico que viene en direcciones opuestas mediante una medianera o barrera ancha, una

demarcación adecuada y diseño de intersecciones apropiado, carriles amplios y bermas selladas (pavimentadas), bordes de la carretera libres de peligros sin protección como postes, y previsiones para ciclistas y peatones tales como vías y cruces diseñados especialmente para ellos.

Las vías menos seguras (1 y 2 estrellas) no tienen elementos de seguridad vial que sean apropiados para las actuales velocidades de tráfico. Los análisis del IRAP muestran que a menudo éstas son vías de un solo carril que registran límites de velocidad relativamente altos, con curvas e intersecciones frecuentes, carriles estrechos, bermas no selladas, demarcaciones deficientes, intersecciones ocultas y peligros laterales a las vías que no se encuentran debidamente protegidos tales como árboles, postes y terraplenes empinados cercanos al borde de la vía. Es muy probable que tampoco tengan las facilidades adecuadas para ciclistas y peatones. (IRAP, 2013)

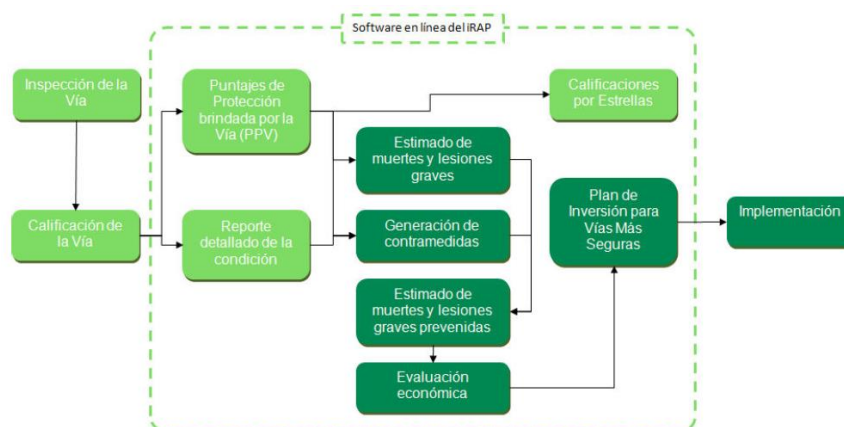


Figura 1. El proceso de la inspección vial, la calificación por estrellas y los planes de inversión para vías más seguras del iRAP

Fuente: (IRAP, 2013)

Ahora bien, dicha metodología ha sido ampliamente utilizada en investigaciones tendientes a valorar el nivel de seguridad de las redes viales en diferentes países del mundo a través de la calificación por estrellas, entre los cuales se encuentra Colombia, quien en el año 2012 inició la más ambiciosa evaluación de la seguridad vial en infraestructura, a través del diagnóstico de 11.500 kms de la red nacional de carreteras (Corporación Fondo de Prevención Vial, 2013), para lo cual

implementa un vehículo equipado con tecnología de alto rendimiento recorre la red nacional de carreteras con cuatro cámaras de alta resolución (una frontal, una trasera y dos laterales) y un complejo equipo de sensores, acelerómetros, perfiladores laser, odómetro y sistema GPS. Cada 100 metros toma imágenes a partir de las cuales equipos de investigadores de las universidades de Los Andes, del Norte y Cauca analizaron las variables que garantizan la seguridad vial (Universidad de los Andes, 2013).



Figura 2. Vehículo equipado con equipos de alto rendimiento

Fuente: (Corporación Fondo de Prevención Vial, 2013)



Figura 3. Perfilador transversal

Fuente: (Corporación Fondo de Prevención Vial, 2013)



Figura 4. Fotografías tomadas y georeferenciadas al instante por las cámaras del vehículo.

Fuente: (IRAP, 2013)

La Metodología del IRAP con vehículo equipado tecnológicamente

Dicha metodología involucra un análisis de fotografías cada 100 metros, que permite obtener lo siguiente:

- Especificaciones de la Vía, Visibilidad.
- Tipo de Usuarios, Usos del Suelo.
- Velocidades, Anchos de carril, Demarcación.
- Estado del Pavimento.
- Andenes, Bermas, Cruces Peatonales.
- Intersecciones y Riesgos Laterales.

Con lo cual se obtienen los siguientes productos:

- Calificación del Riesgo.
- Contramedidas y Planes de Inversión.
- Análisis de IRI, Ahuellamiento y Daños, por tramos uniformes de carreteras.

Este tipo de metodologías implementadas para valorar la seguridad vial han sido evaluadas y valoradas algunos investigadores, tales como Douglas W. et al (2010), donde se pretendía validar la relación entre la cantidad de estrellas generadas por la metodología IRAP y las tasas de accidentalidad para aproximadamente 3000 millas de las zonas rurales y las vías urbanas en estados como Iowa y Washington, en donde se analizaron aspectos de tales como ancho de los carriles, ancho de las bermas y distancia entre el borde de la vía y los peligros fijos, tales como árboles y postes grandes. Se pudo constatar que es una metodología que muestra un gran potencial como método para el desarrollo de programas de seguridad rentables que permite la introducir mejoras en la infraestructura vial de las carreteras, pero que es insuficiente para validar al peatón y al ciclista a través de la clasificación por estrellas, debido a la falta de datos, ya que éstos son eventos relativamente raros en las carreteras de EEUU en comparación con las carreteras de otros países donde los volúmenes de peatones y ciclistas son mayores (Harwood, Bauer, Gilmore, Souleyrette, & N. Hans., 2010).

En cualquier caso ya es claro que el ambiente local y la infraestructura de carreteras juegan un papel importante a la hora de explicar las concentraciones de accidentes en determinados puntos (Flahaut, 2004).

3.1.2. Metodologías aplicadas en Colombia para el mantenimiento de corredores viales.

En Colombia el Instituto Nacional de Vías, INVIAS desarrolló el programa de Corredores de Mantenimiento Integral, donde se evaluaría técnicamente el plan de inversión para garantizar las condiciones de serviciabilidad adecuadas.

En este programa se realizó un diagnóstico del estado de las vías, basándose en la medición de variables como el IRI (Índice de Rugosidad Internacional) y el inventario de daños entre otros aspectos, para posteriormente proponer matrices de intervención en cada uno de los respectivos corredores. En la Tabla 1, se

muestran los corredores evaluados en el programa de corredores de mantenimiento integral, inicialmente se propusieron 11 corredores, pero el corredor N°1 Rumichaca – Pasto fue cancelado.

Tabla 1. Longitud de cada corredor del programa “Corredores de Mantenimiento Integral”.

No.	NOMBRE DEL CORREDOR	TERRITORIAL	LONGITUD (Km)
1	RUMICHACA - PASTO - MOJARRAS*	NARIÑO	203
2	MOJARRAS – POPAYÁN	CAUCA	137
3	CERRITOS – MEDELLÍN	ANTIOQUIA	237
4	HATILLO -- CAUCASIA	ANTIOQUIA	254
5	CAUCASIA – SINCELEJO	CORDOBA - SUCRE	181
6	SINCELEJO - TOLUVIEJO – CARTAGENA	SUCRE - BOLIVAR	116
7	IBAGUÉ - MARIQUITA Y MANIZALES - FRESNO – HONDA	TOLIMA - CALDAS	233
8	SAN ALBERTO - LA MATA Y BARRANCABERMEJA – LEBRIJA	SANTANDER - OCAÑA	190
9	LA MATA – BOSCONIA	CESAR	175
10	BUENAVENTURA – BUGA	VALLE	118
11	CALARCÁ - IBAGUÉ - Y LA VARIANTE DE IBAGUÉ	QUINDÍO - TOLIMA	100.33

* *El corredor N°1 fue cancelado al inicio del programa de corredores de mantenimiento integral.*

Las actividades desarrolladas en el programa de corredores de mantenimiento integral consistía en una evaluación inicial para un primer diagnostico que fueron seguidas por evaluaciones anuales durante 4 años, para el periodo 2005 – 2009. En cada año se realizó lo siguiente:

Inventario de daños: Consistente en una evaluación de la extensión y gravedad de cada tipo de daño considerado en la Guía Metodológica del INVIAS (Instituto Nacional de Vías Colombiano). Este proceso de inventario se llevó a cabo cada 100 m.

Mediciones de Rugosidad: La rugosidad se indica mediante el IRI (Índice de Rugosidad Internacional), el cual es una medida de la influencia del perfil longitudinal de la carretera en la calidad de la rodadura en un corredor

seleccionado, se expresa en metros por kilómetro (m/Km) y representa los desplazamientos verticales acumulados en una unidad de distancia. Las mediciones se realizan en forma continua, procesando los valores de rugosidad posteriormente cada 100 m por calzada.

3.1.3. La accidentalidad y su relación con el estado del pavimento.

Los accidentes de tránsito son el resultado de una distorsión de la armonía en el sistema "usuario-vehículo-vía" del transporte automotor, siendo de especial atención para el presente desarrollo el relacionado con el estado del pavimento, lo cual tiene generalmente como consecuencia daños materiales o personales (Hidalgo, 1990).

Los motivos por los cuales sucede el siniestro pueden radicar en uno, dos o bien los tres componentes del mencionado sistema (Hidalgo, 1990). Numerosa cantidad de factores relativos a esos tres componentes pueden influir en los accidentes; por lo tanto, su análisis y la determinación de las razones que los provocan constituyen un problema de variable complejidad. De esta manera, las causas reales de un siniestro pueden ser numerosas y, a veces, difíciles de determinar.

Generalmente, los accidentes de tránsito son atribuidos al factor humano y se señala al conductor o al peatón como causante. Este enfoque tradicional es bastante subjetivo, ya que hay detalles que pueden contribuir para que, al transitar los vehículos por cualquier tramo o punto de una vía, el riesgo de siniestro sea mayor. Entre estos, se pueden mencionar irregularidades en la superficie de rodamiento, inadecuada rugosidad, presencia de baches, ondulaciones, obstáculos en la calzada, etc.

Para tratar de determinar las causas reales de los accidentes, se debe estudiar el problema por medio de un registro que permita al investigador interpretar, de una forma cercana a la realidad, el modo en que sucede el siniestro.

Así será posible establecer las razones que los accidentes tienen en común, para tratar de corregir el problema, disminuir su incidencia y, si es posible, eliminarla (Hidalgo, 1990).

El problema de la accidentalidad producida por el mal estado del pavimento es un problema de salud pública que ha llevado a distintos entes gubernamentales e instituciones educativas a adelantar estudios tendientes a buscar soluciones a la problemática planteada, tal es el caso del último boletín entregado por el observatorio de movilidad, donde después de observar de cerca el problema de la accidentalidad en Colombia, se llegó a la conclusión de que:

“Las normas y especificaciones sobre señalización, demarcación y diseño vial deben ser revisadas y reforzadas, contemplando los aspectos mínimos de seguridad vial como iluminación, correcta señalización, radios mínimos de curvatura, velocidad de diseño, entre otros.” (Observatorio de Movilidad, 2009)

Lo cual es una medida consistente con los resultados de estudios adelantados a nivel internacional que coinciden en afirmar que el estado del pavimento así como su índice de fricción son variables importantes que afectan la tasa de accidentes para el caso de vías con dos carriles (Lee & Mannering, 2002), pues se ha identificado que éste factor incide con mayor frecuencia cuando se trata de vías menos congestionadas debido al incremento de las velocidades de los conductores (G. Karlaftis & Golias., 2002), lo cual se encuentra en concordancia con el resultado de estudios sobre accidentalidad adelantados por los investigadores Matthew G. Karlaftis quienes indicaron que el estado del pavimento dirimido en aspectos como la fricción del pavimento, el índice de servicio y el tipo de pavimento son en esencia los factores más importantes que afectan los índices de accidentalidad (G. Karlaftis & Golias., 2002), aspecto que fue confirmado por Yip Chan, et al (2009), los cuales analizaron la relación entre las condiciones del pavimento expresada a través del el Índice Internacional de Rugosidad (IRI), el Índice de serviciabilidad del pavimento (PSI) y el ahuellamiento (RD) con la frecuencia de accidentes de vehículos sufridos, a través de 20 modelos de

regresión binomial negativa que expresaban las relaciones entre los parámetros del estado del pavimento, la frecuencia de accidente, y los tipos de accidentes, con lo cual se demostró que el PSI o IRI son indicadores importantes de la condición del pavimento que permiten predecir la frecuencia de accidentes en un segmento de la carretera, ya que se encontró que el estado del pavimento interviene en la generación de accidentes de tránsito (yip chan, huang, yan, & richards, 2009).

3.1.4. La accidentalidad y su relación con la geometría de la carretera

Algunas investigaciones se han ocupado de analizar el impacto que tienen las condiciones geométricas de las carreteras sobre la frecuencia y gravedad de los accidentes por salida de carretera (Lee & Mannering, 2002), donde se logró correlacionar la incidencia que tienen algunas características geométricas de las vías rurales, tales como anchos de carriles, hombros, medianeras, intersecciones, alineamientos verticales y horizontales, etc con los niveles de accidentalidad, llegando a la conclusión de que no solo un mal planteamiento de éstos factores influyen notablemente en la generación de accidentes, sino que también existen elementos ajenos a la geometría de las vías que al no ser ubicados correctamente tales como barandas, instalación de objetos firmes a orillas de la vía y cercanía de grupos de árboles y de postes de servicio público a lo largo de la carretera sin ser bien definidos agravan la situación. Por su parte Wong & Nicholson, (1992) observaron que las modificaciones geométricas de las carreteras tienen importantes efectos en la accidentalidad, al demostrar la existencia de una fuerte correlación entre los elementos geométricos adversos de las vías y los lugares de alta frecuencia de accidentes, por otro lado Zegeer et al. (1986) informó que la anchura de la berma en las carreteras tiene un efecto significativo en la seguridad vial. Esta asociación ha sido confirmada en estudios realizados por Boughton (1975) y por Mohamed et al (2000), quienes analizaron variables geométricas como el grado de curvatura horizontal, carril, berma, ancho promedio del carril y longitud de la sección transversal de las vías en la frecuencia de ocurrencia de

accidentes para diferentes tipos de conductores, discriminados por edad y sexo, con lo cual demostraron que el volumen de tráfico pesado, el exceso de velocidad, ancho de carril estrecho, mayor número de carriles, y anchura estrecha de la berma aumenta la probabilidad de participación en un accidente (Mohamed A & Essam, 2000). Otras relaciones empíricas entre los accidentes de vehículos de carretera y las geometrías han sido estudiadas a través del uso de modelos estadísticos que permiten predecir la probabilidad de ocurrencia de accidentes, basada en condiciones de la vía, así como las variables de diseño geométrico críticos para la seguridad y el potencial de reducción de accidentes ante mejoras geométricas (Hammerslag, Roos, & Kwakernaak, 1982); (Okamoto & Koshi, 1989).

3.2. MARCO CONCEPTUAL

A continuación se presentan algunos conceptos y definiciones importantes relacionados con el diseño del dispositivo electrónico empleado en el presente proyecto.

Sistema de transporte:

El sistema de transporte puede ser analizado a partir de tres elementos: Infraestructura, vehículos o equipos y operación. La infraestructura corresponde a los elementos físicos que sirven de soporte físico a los vehículos, ejemplo de ésta son las calles y carreteras (Solminihac, 2001).

Infraestructura vial:

Es todo el conjunto de elementos que permite el desplazamiento de vehículos en forma confortable y segura desde un punto a otro, minimizando las externalidades tanto del medio ambiente como su entorno, esto incluye los pavimentos y sus características, puentes, túneles, dispositivos de seguridad, señalización, entorno etc. (Solminihac, 2001)

Gestión de pavimentos:

Es el conjunto de operaciones que tienen como objetivo conservar por un periodo de tiempo las condiciones de seguridad, comodidad y capacidad estructural adecuadas para la circulación, soportando las condiciones climáticas y de entorno de la zona en que se ubica la vía en cuestión, todo lo anterior, minimizando los costos monetarios, social y ecológico (Solminihac, 2001).

Pavimentos:

Son elementos estructurales con capacidad de carga, que tienen por propósito servir al tránsito en forma segura, confortable y eficiente, para lo cual se requieren labores de conservación adecuadas y oportunas sobre ellos (Solminihac, 2001).

Conservación de pavimentos:

Significa la acción de cuidar que la aptitud de servicio de un pavimento se prolongue durante el tiempo requerido (Solminihac, 2001).

Deterioro de pavimentos:

En términos generales se entenderá por deterioro de pavimentos a una serie de manifestaciones superficiales de la capa de rodado, haciendo que la circulación vehicular sea menos segura, confortable y que los costos de operación sean mayores.

Cuando se producen daños que se manifiestan superficialmente en forma de pérdida de geometría, deterioro en el rodado u otros (Solminihac, 2001).

Arduino uno

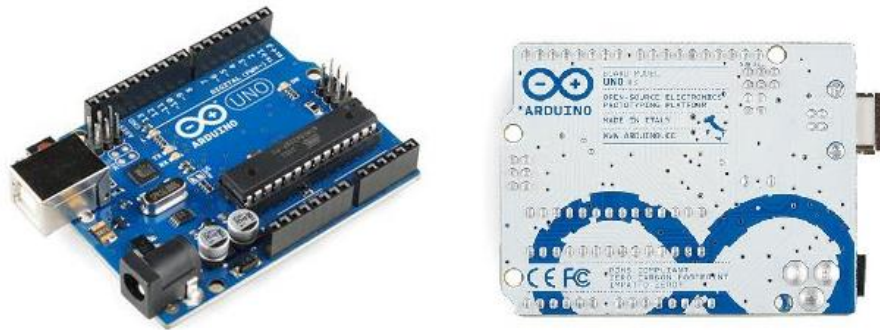


Figura 5. Características del Arduino Uno.

Fuente: <http://www.arduino.cc/>

Arduino es una plataforma de cómputo libre basado en una tarjeta I/O (entradas y salidas) programada en un ambiente con un lenguaje similar a C llamado Processing/Wiring. Arduino puede ser utilizado para desarrollar objetos autónomos e interactivos, capaz de comunicarse con software instalado en computadoras como Flash, Processing, MaxMSP, etc

El *Arduino uno* cuenta con 14 entradas / salidas digitales pines (de los cuales 6 pueden ser utilizados como salidas PWM), 6 entradas analógicas, una de 16 MHz del oscilador de cristal, una conexión USB, un conector de alimentación, una cabecera de ICSP, y un botón de reinicio.

Arduino uno difiere de todas las placas anteriores en que no utilizan el chip controlador USB FTDI a serie. Por el contrario, cuenta con la Atmega16U2 (Atmega 8U2 hasta la versión R2) programado como un convertidor de USB a serie.

Características de arduino:

- Micro controladores ATmega328
- Voltaje de funcionamiento 5V
- Voltaje de Entrada (recomendado) 7-12V
- Voltaje de entrada (los límites) 6-20V
- Digital pines I / O 14 (6 de las cuales proporcionan Una salida PWM)
- Pines de entrada analógica 6
- Corriente de I / S de CC Pin 40 mA
- De corriente continua de 3,3 V Pin 50 mA
- Memoria Flash 32 KB (ATmega328) de los Cuales 0.5 KB utilizado por gestores de arranque
- SRAM 2 KB (ATmega328)
- EEPROM 1 KB (ATmega328)
- Velocidad de reloj 16 MHz

Arduino™ UNO Reference Design

Reference Designs ARE PROVIDED "AS IS" AND "WITH ALL FAULTS". Arduino DISCLAIMS ALL OTHER WARRANTIES, EXPRESS OR IMPLIED, REGARDING PRODUCTS, INCLUDING BUT NOT LIMITED TO, ANY IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY OR FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE.

Arduino may make changes to specifications and product descriptions at any time, without notice. The Customer must not rely on the absence or characteristics of any features or instructions marked "reserved" or "undefined". Arduino reserves these for future definition and shall have no responsibility whatsoever for conflicts or incompatibilities arising from future changes to them. The product information on the Web Site or Materials is subject to change without notice. Do not finalize a design with this information.

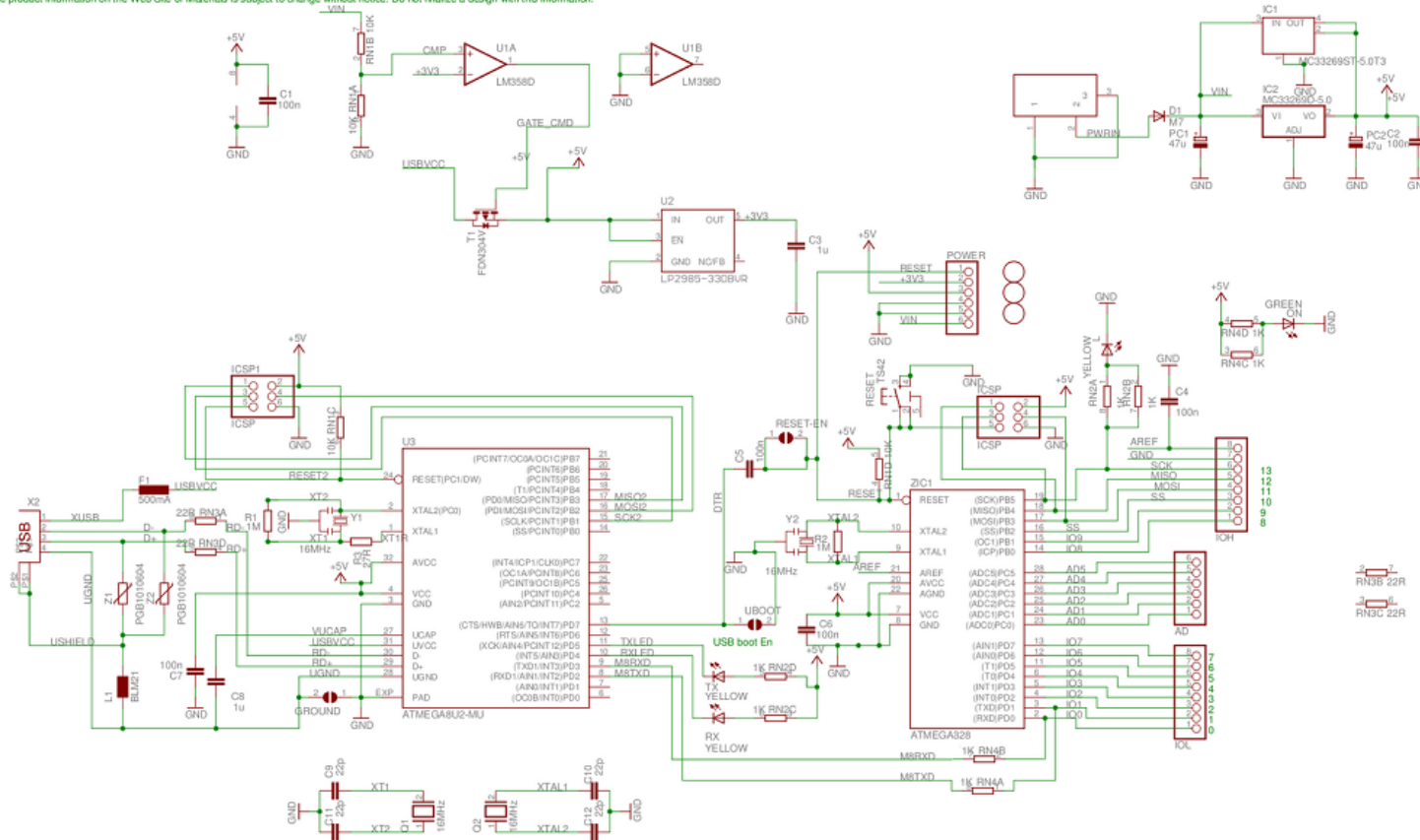


Figura 6. Esquema de la placa Arduino Uno.

Fuente: <http://www.arduino.cc>

4. DISEÑO METODOLÓGICO

El proyecto SAAGEP está clasificado en el marco de investigación de proyectos de desarrollo tecnológico, dado que éste está fundamentado en la implementación de dispositivos modernos que se aplican a contextos reales

4.1. Fases del proyecto

FASE I: Estudio, análisis e interpretación del sistema.

El sistema se diseñó tomando como datos de entrada las perturbaciones generadas por los baches y ondulaciones presentes en el pavimento dentro del sistema de amortiguación de un vehículo de prueba, lo cual fue considerado con una señal activa que debía generar los siguiente eventos:

- Accionar el disparo de una cámara fotográfica previamente instalada
- Almacenar la posición geográfica emitida por un dispositivo GPS
- Relacionar la referencia de la foto con la posición geográfica capturada dentro de un archivo exportable a Google Earth

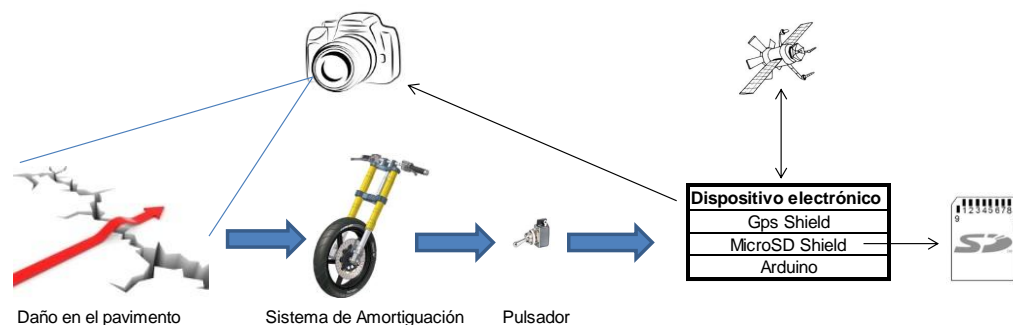


Figura 7. Sistema implementado

Fuente: Elaboración propia

En consecuencia se analizaron los siguientes factores:

- Tecnologías y procedimientos disponibles para administrar el estado de las carreteras en el país.
- Metodologías de registro y procesamiento de información de campo.

- Técnicas y herramientas para la captura automatizada de daños en los pavimentos.
- Fácil instalación y manejo de herramientas tecnológicas.
- Compatibilidad con dispositivos de uso moderno tales como PC.
- Interconectividad de los dispositivos a emplearse.

FASE II: Características del sistema

El sistema cuenta con las siguientes características:

- Posee un circuito simple lo que a su vez proporciona un mejor y más rápido funcionamiento e interconectividad con todos los elementos del sistema.
- Potabilidad, ya que es un dispositivo de fácil instalación y desinstalación.
- Activación por pulsador, para la generación de señales altas.
- Cuenta con cámara fotográfica de alta resolución y sistema de posicionamiento global de gran precisión.
- Es de fácil uso, la extracción de los datos es rápida y simple a través de microSD.
- El formato de la información almacenada es exportable a Google Earth.

FASE III: Diseño e implementación del sistema

La interrelación del sistema se logró a partir del diseño electrónico de la red de transmisión de señales, donde se interconectaron los principales componentes del sistema, tales como: el Arduino Uno, la Gps Shield, la MicroSD Shield, la cámara fotográfica y el sistema de activación por pulsador instalado en el sistema de amortiguación del vehículo, en la figura 8 se muestra el circuito que conecta estos componentes del sistema.

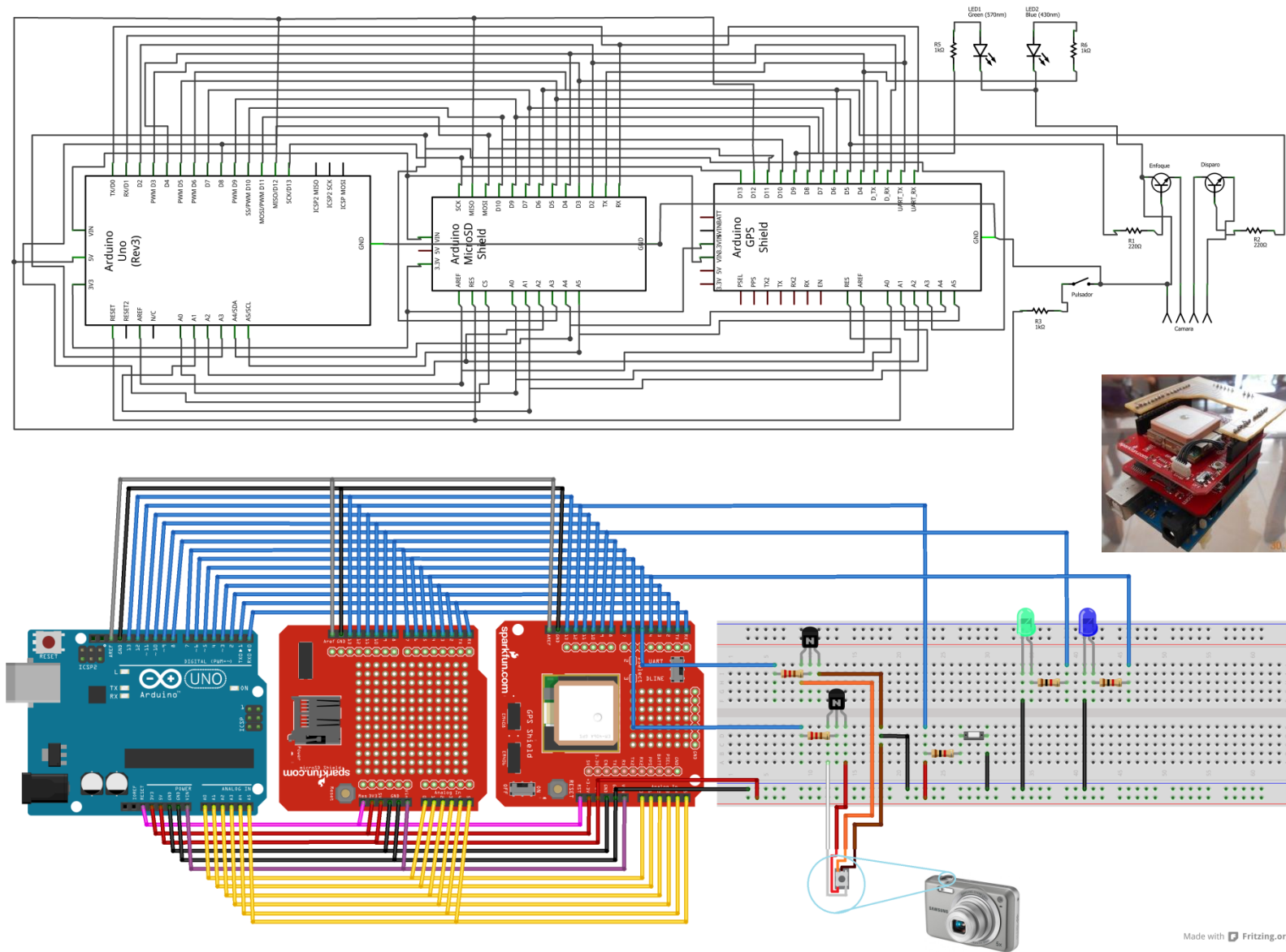


Figura 8. Diseño e implementación del circuito electrónico del sistema

Fuente: Elaboración propia

4.2. Metodología de desarrollo del producto

A continuación se describe en diferentes etapas el proceso metodológico llevado a cabo en la elaboración del dispositivo.

Diseño general del Sistema

El funcionamiento del dispositivo inicia con una señal generada por el sistema de activación por perturbación (SAPP) del prototipo, el cual acciona un pulsador que genera una orden de disparo de una cámara fotográfica previamente instalada, así como el almacenamiento de la posición geográfica percibida por la GPS Shield en el instante de la activación de la cámara. El almacenamiento se ejecuta dentro de la MicroSD Shield. El procesamiento de dichas ordenes es emitida por el Arduino.

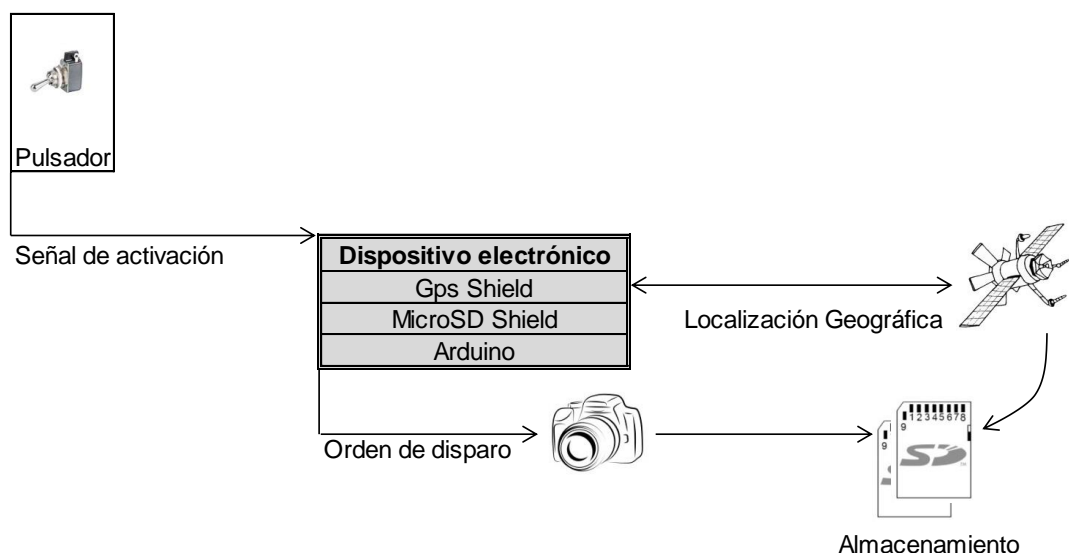


Figura 9. Diagrama de secuencia
Fuente: Elaboración propia

Descripción la arquitectura del dispositivo.

El dispositivo se diseñó e implementó dependiente del sistema de amortiguación de un vehículo de prueba (Motocicleta), para esto se utilizó un Arduino Uno R3 con una placa electrónica basada en el microprocesador

Atmega328, el cual cuenta con 14 pines digitales de entrada / salida, 6 entradas analógicas, una conexión USB y un conector de alimentación.

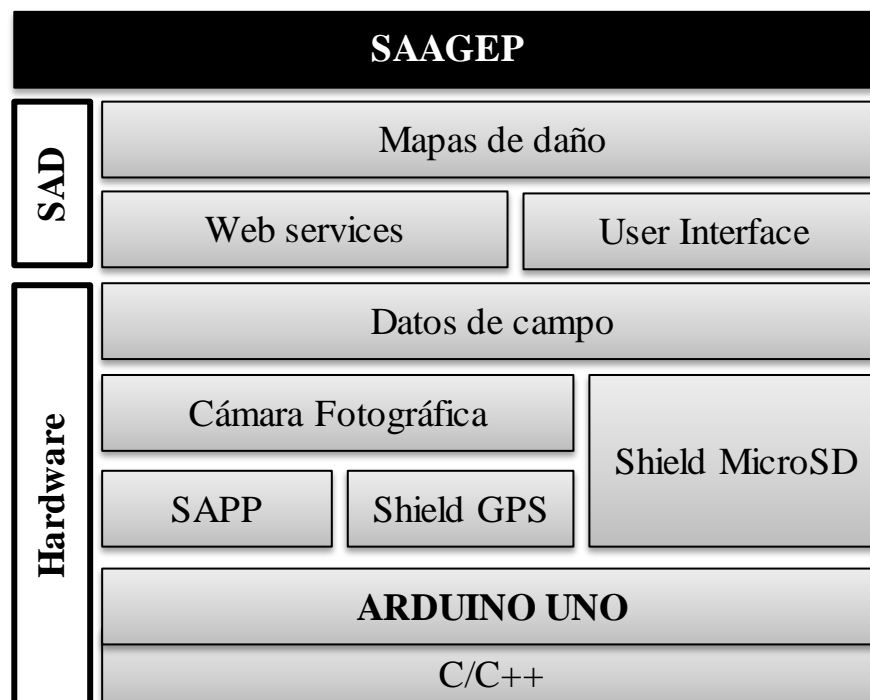
Para la captura de las coordenadas el dispositivo utilizó una Shield GPS y un receptor GPS EM406 de USGlobalSat que incluye la regulación de voltaje a bordo, indicador de estado LED, batería de respaldo RAM, y una antena de parche.

Debido a que era necesario guardar los datos arrojados por el receptor GPS, se requirió la instalación de una Shield MicroSD que permitiera equipar el dispositivo con capacidad de almacenamiento masivo.

Dado que uno de los objetivos era capturar fotográficamente los daños presentes en el pavimento, el dispositivo se equipó con una cámara digital Samsung SL50 con capacidad de estabilización de imagen y pantalla LCD de 2.5" que generaba imágenes en formato JPG.

Para detectar los baches o daños se utilizó un pulsador instalado en un riel que a la vez estaba adherido al sistema de amortiguación del vehículo, este pulsador enviaba una señal (alto / bajo) que iniciaba el funcionamiento del sistema.

A continuación se describe diagramáticamente la arquitectura completa del dispositivo diseñado, el cual se fundamenta en el lenguaje de Arduino para hacer la conexión con distintos tipos de hardware que permiten generar la información de campo requerida para su posterior tratamiento dentro de un sistema integrado de administración de datos (SAD).



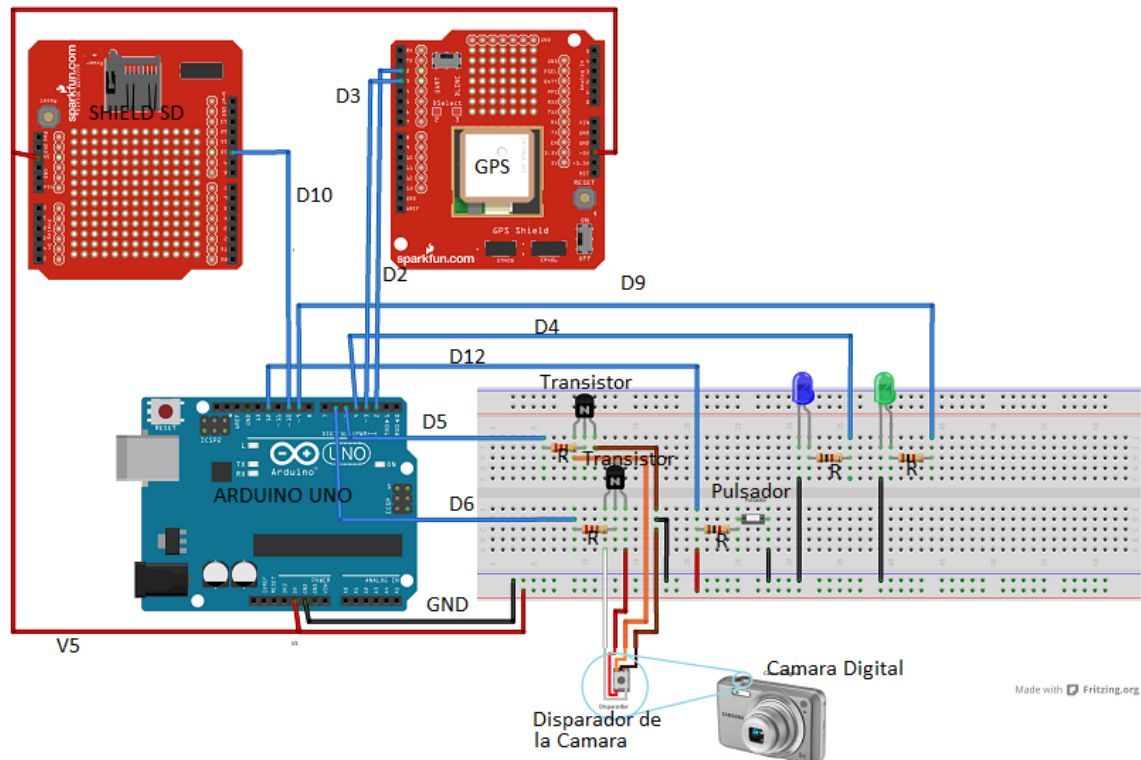
SAPP: Sistema de activación por perturbación; SAD: Sistema de administración de datos

Figura 10. Arquitectura del dispositivo SAAGEP

Descripción del circuito desarrollado

Para la programación de las órdenes procesadas por el dispositivo, se implementó el entorno de código abierto de Arduino, el cual facilitaba escribir el código en lenguaje C/C++ y guardarlo en la placa Arduino.

Arduino Uno leía el estado del pulsador conectado en el pin digital 12, si este era alto (High) enviaba una petición de captura de posición al receptor GPS por medio de los pines digitales 2 y 3, para que éste obtuviera las coordenadas geográficas correspondientes al punto en el cual se encontraba el vehículo en ese instante (Latitud y Longitud) y así posteriormente enviar la posición capturada a la microSD por medio del pin digital 10, y activar como salida los puertos digitales 5 y 6, los cuales enviaban la señal de enfoque y disparo a la cámara digital, con lo que se obtenía la captura de la imagen del bache y su respectiva georreferenciación. La anterior descripción del circuito se detalla simplificada a través de la figura 11 presentada a continuación.



D: Conexión digital; V: Voltaje; GND: Conexión a Tierra; R: Resistencia eléctrica

Figura 11. Descripción del circuito electrónico

Fuente: Elaboración propia

Descripción de la arquitectura software

En relación al componente lógico del sistema, en las figuras 12 y 13 se muestran los diagramas de clase y de casos de uso desarrollados, en este caso el archivo main contiene la lógica de procesamiento de la aplicación, este crea dos objetos, el primero de ellos denominado GPS, de la clase TinyGPS, que se utiliza para hacer la respectiva configuración del GPS. El objeto SoftwareSerial ss es Instancia de la clase Software serial que crea un puerto serial virtual.

En el método setup se hacen las configuraciones, del GPS, los leds, la cámara, la tarjetaSD y el dispositivo de captura.

En el método loop se lleva a cabo la lectura del dispositivo, cuando registre un bache el sistema envía una señal a la cámara y se registra en un archivo csv la

ubicación geográfica (longitud y la latitud) del daño detectado en el pavimento y la referencia de la fotografía.

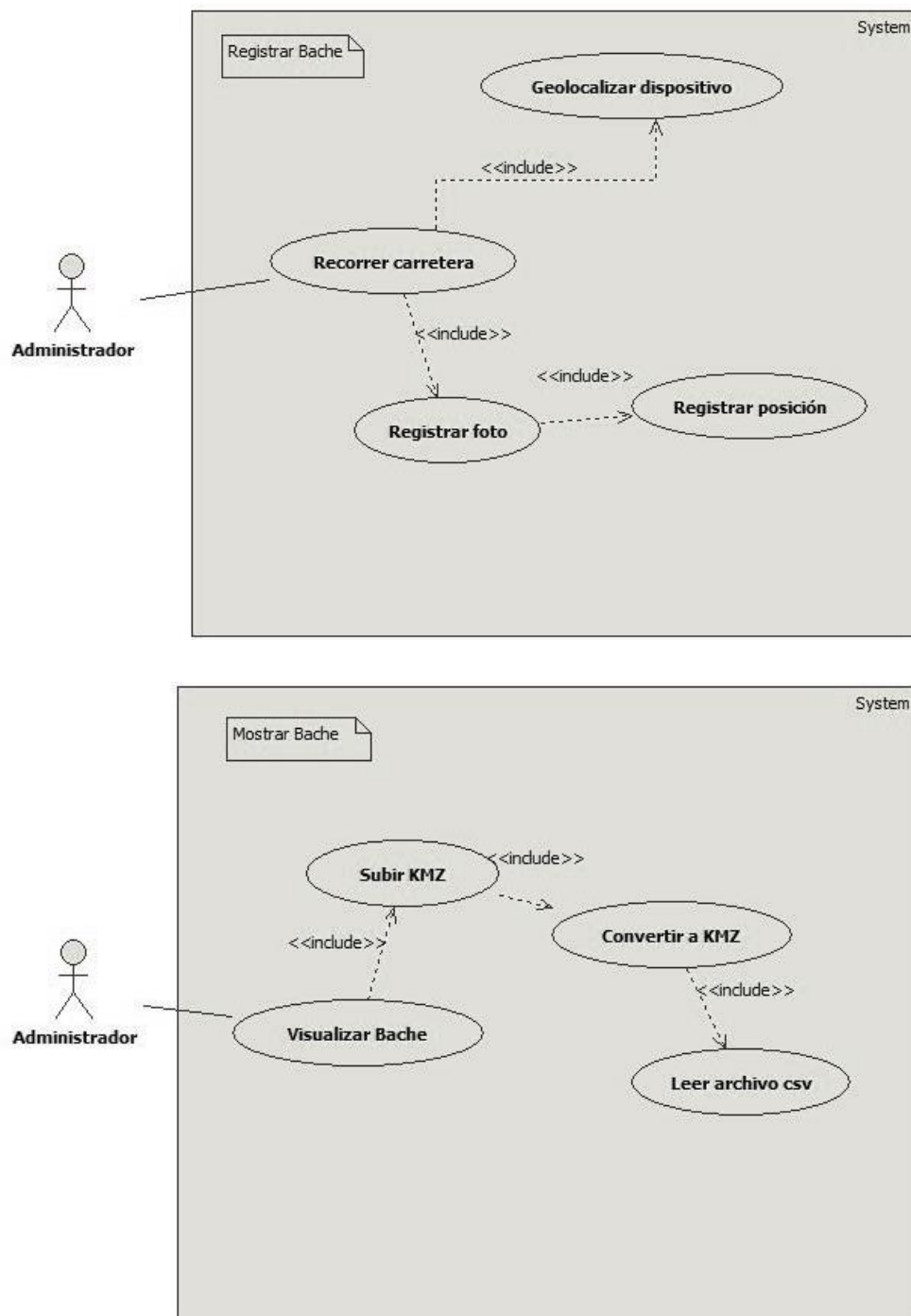


Figura 12. Diagramas de casos de usos

Fuente: Elaboración propia

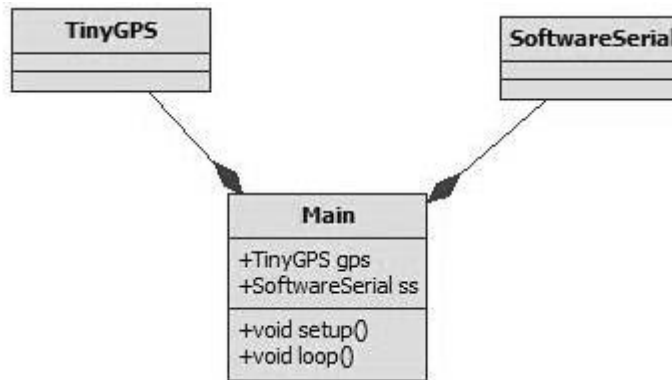


Figura 13. Diagrama de la clase principal implementada en el código

Fuente: Elaboración propia

5. DESARROLLO

5.1. Sistema de activación por perturbación del dispositivo

La captura de los daños en el pavimento se obtiene a través del accionamiento de un pulsador instalado en el sistema de amortiguación de un vehículo, el cual se calibra en función del peso del conductor, y su activación depende de la magnitud de la perturbación producida en el amortiguador por los baches y ondulaciones presentes en el pavimento asfáltico, dicho pulsador envía una señal de alto a Arduino, para que éste cargue la posición geográfica del punto y active el disparo de la cámara fotográfica previamente instalada.



Figura 14. Sistema de activación por pulsador (SAPP)

Fuente: Elaboración propia



Figura 15. Implementación del Sistema de activación por pulsador
Fuente: Elaboración propia

5.2. Interconexión de los sistemas hardware y software del dispositivo.

El dispositivo electrónico cuenta con una shield GPS que permite la localización geográfica de los daños encontrados en el pavimento con absoluta precisión, la cual emite constantemente señales a los satélites presentes en la zona, de igual forma dicho dispositivo posee una MicroSD Shield, que almacena los datos de campo (Latitud y longitud del punto evaluado y referencia de la foto capturada con el daño en el pavimento) en una tarjeta de memoria que permite descargar y revisar posteriormente los datos en un computador.

En la shield GPS también se conecta con un circuito que hace la función de disparador para la cámara fotográfica, permitiendo la captura de imágenes cuando el dispositivo se lo indique.

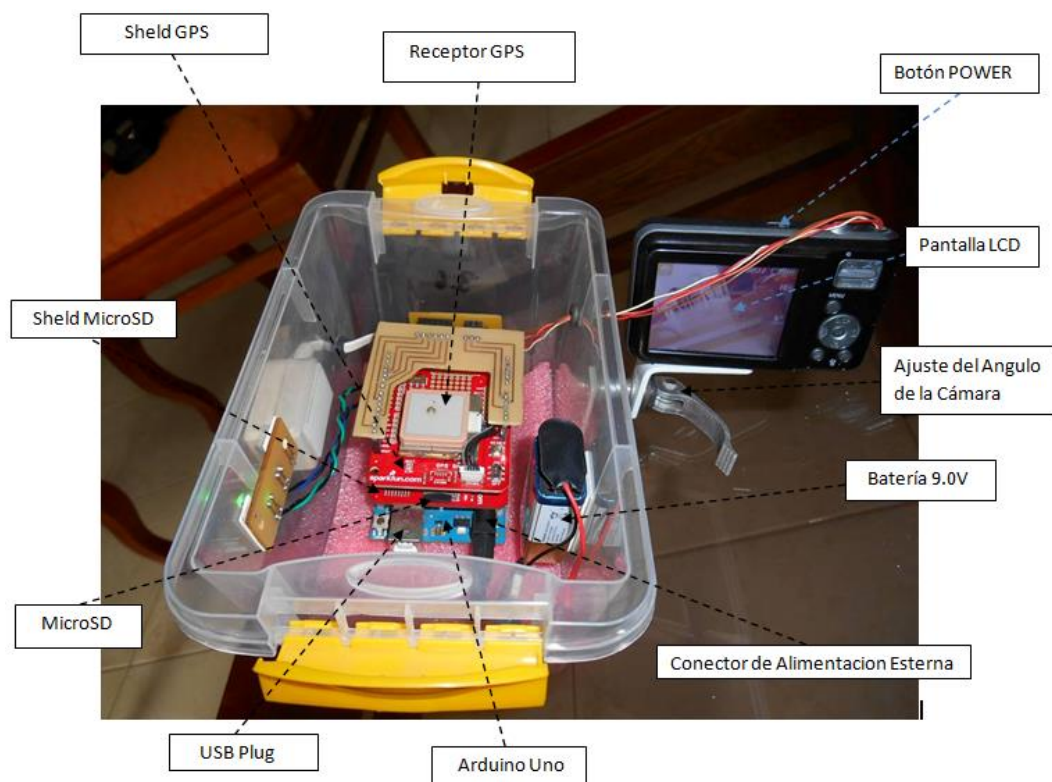


Figura 16. Mecanismo de captura de información de campo

Fuente: Elaboración propia

El dispositivo electrónico se instala en la parte posterior de un vehículo, con un retardo en la cámara fotográfica de 1 segundo, lo cual se obtiene a partir de la programación del dispositivo Arduino. A una velocidad de 30 km/h el sistema permite capturar fotos panorámicas de los daños presente en la infraestructura vial de una forma automática e instantánea almacenándolos posteriormente en una Shield MicroSD junto con la localización geográfica de los mismos para posteriormente ser manipulados en el proceso de gestión de pavimentos.

Finalmente se el archivo de datos guardados en la Shield MicroSD puede ser exportado a google Earth para generar mapas de intervención con los daños capturados a través del dispositivo desarrollado.



Figura 17. Montaje integral del dispositivo electrónico

Fuente: Elaboración propia

5.3. Caso de aplicación

Para validar la funcionalidad del dispositivo se realizó un recorrido de 8.56 kilómetros por la vía troncal de occidente al margen del municipio de Sahagún, Córdoba, tal como se muestra en la figura 18.

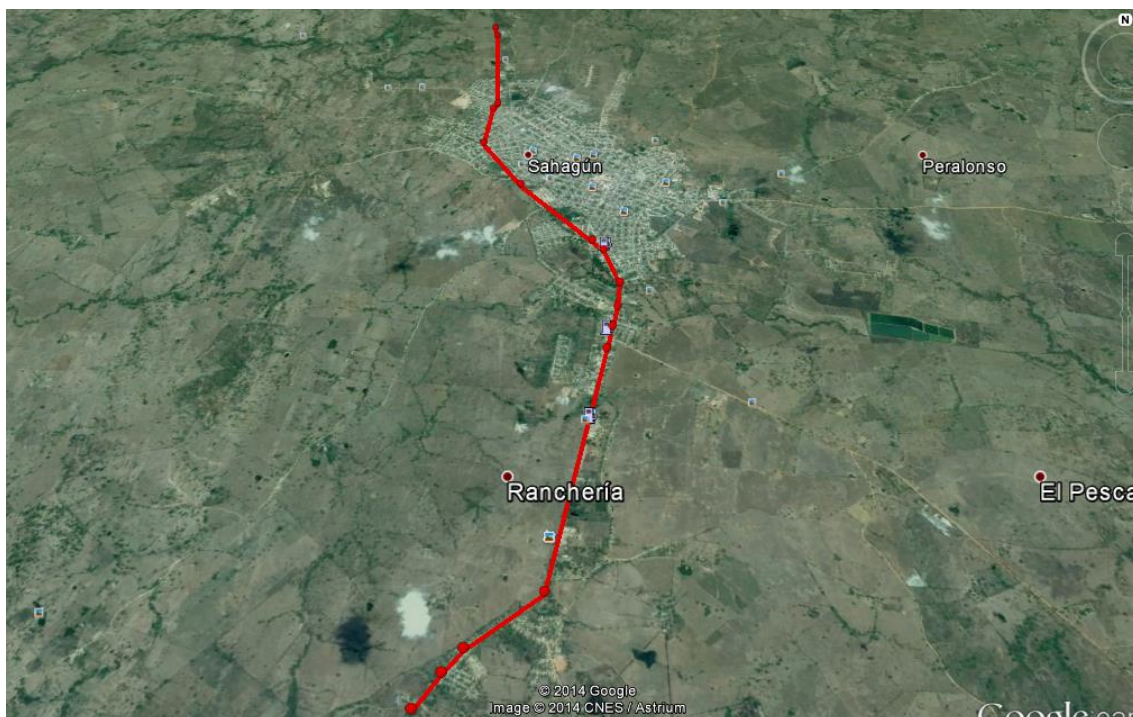


Figura 18. Aplicación del dispositivo en 8.56 Km de recorrido

Fuente: Elaboración propia

Donde el dispositivo capturó 16 datos producto de irregularidades en la superficie del pavimento, los cuales corresponden a resaltos y reductores de velocidad localizados intencionalmente por las autoridades de tránsito y transporte, esto en razón de que la capa superficial del pavimento se encuentra en buen estado, libre de daños estructurales y funcionales.

En la figura 19 se muestran los puntos capturados y georreferenciados por el dispositivo, junto con algunos de los daños o irregularidades captadas por el lente de la cámara:

Una vez obtenido el archivo con los datos de rastreo del dispositivo, se cargan en la página web **www.gpsvisualizer.com**. Para su conversión a datos GPS que pueden ser utilizados posteriormente por distintos tipos de sistemas de información geográfica. En el manual de usuarios (Anexo 2) se detalla como importar esos datos para generar mapas en Google Earth, tal como se muestra a continuación, para el recorrido realizado:



Figura 19. Capturas generadas por el dispositivo en caso de aplicación

Fuente: Elaboración propia

De igual forma cada una de las irregularidades y daños dibujados en el mapa pueden ser observados directamente al hacer clic en el vínculo de la imagen (ver figura 20), con lo cual se presenta de mejor manera la información al usuario para efectos de análisis y procesamiento de los datos de campo.



Figura 20. Visualización de daños en los mapas generados
Fuente: Elaboración propia

6. CONCLUSIONES

Se diseñó una metodología de apoyo a gestión de infraestructura carretera que consiste en obtener información georreferenciada para determinar los daños presentes en el pavimento de tal forma que sirva de soporte a la planificación y asignación de recursos para el mantenimiento vial. Los datos tomados mediante esta metodología permiten también la formulación de mejores políticas de inversión.

La puesta en práctica de dicha metodología implicó el diseño e implementación de un sistema electrónico de detección automática de daños en el pavimento, mediante la toma de fotografías georeferenciadas que pueden ser migrados fácilmente a cualquier plataforma de análisis de información geográfica. Esta característica garantiza la compatibilidad de los datos con la mayoría de las plataformas informáticas que poseen las entidades responsables de la gestión de infraestructura y seguridad vial, de igual forma, la información de campo obtenida con dicho dispositivo puede ser exportada a herramientas de gran utilidad como Google Earth para la construcción de mapas actualizados de daños sobre la infraestructura vial.

El sistema electrónico finalmente quedó conformado por los siguientes componentes: Arduino, Gps Sheild, MicroSD Shield, Camara fotográfica y un Mecanismo de activación con pulsador en el sistema de amortiguación de un vehículo. Dicho sistema es portable, de fácil instalación y manejo, confiable y eficiente a la hora de obtener información de campo a bajo costo.

En relación a la aplicación práctica del dispositivo SAAGEP, se realizó un recorrido de 8.56 kilómetros por la vía troncal de occidente al margen del municipio de Sahagún, Córdoba, donde se verificó la funcionalidad y servicio del dispositivo, el cual registró el 100% de las irregularidades presentes en la superficie del pavimento, de las cuales el 62.5% corresponden a resaltos y el 37.5% a reductores de velocidad localizados intencionalmente por las autoridades de tránsito y transporte, es importante aclarar que el recorrido se realizó sólo en un sentido y que no se encontraron daños significativos en la superficie del pavimento.

De otro lado, se puede concluir que el dispositivo SAAGEP en comparación con otras metodologías de evaluación vial como el IRAP permite obtener, procesar y analizar información de campo a un costo significativamente más bajo respecto a los actuales precios de mercado, dada la poca inversión requerida, lo que lo hace óptimo para países en vía de desarrollo y con pocas asignaciones presupuestarias, de igual forma la aplicación de dicho dispositivo genera importantes ahorros en los tiempos de procesamiento de la información de campo, ya que éste evita realizar capturas innecesarias de datos en sitios no requeridos (sin presencia de daños en el pavimento). Finalmente SAAGEP a diferencia de los métodos tradicionales utilizados en la actualidad para la gestión vial, posibilita la realización de análisis espacial de datos, con lo cual se eliminan diagnósticos subjetivos y se justifica acertadamente la toma de decisiones.

REFERENCIAS

1. Bull, A. (2003). *Un Nuevo Paradigma para la Conservación Vial: de Hacer lo que se Puede a Hacer lo que es Exigible*. División de Recursos Naturales e Infraestructura, CEPAL. Santiago, Chile: Primer congreso de fondos de conservación vial de centroamérica.
2. Corporación Fondo de Prevención Vial. (08 de Febrero de 2013). http://www.fpv.org.co/quienes_somos. Obtenido de Fondo de Prevención Vial: www.fpv.org.co/
3. Engel, J. (1984). Models for response data showing extra-Poisson variation. *Statistical Neerlandica* , 159-167.
4. Flahaut, B. (2004). Impact of infrastructure and local environment on road unsafety Logistic modeling with spatial autocorrelation. *Accident Analysis and Prevention* (36), 1055–1066.
5. G. Karlaftis, M., & Golias., I. (2002). Effects of road geometry and traffic volumes on rural roadway accident rates. *Accident Analysis and Prevention* (34), 357–365.
6. Hammerslag, R., Roos, J. P., & Kwakernaak, M. (1982). Analysis of accidents in traffic situations by means of multiproportional weighted Poisson model. *Transportation Research Record* , 29-36.
7. Harwood, D. W., Bauer, K. M., Gilmore, D. K., Souleyrette, R., & N. Hans., Z. (2010). Validation of U.S. Road Assessment, Program Star Rating Protocol, Application to Safety Management of U.S. Roads. *Journal of the Transportation Research Board* , 33–41.
8. Hernández, I. (2013). <http://tdrobotica.co/>. Recuperado el 22 de Junio de 2013, de <http://tienda.tdrobotica.co/>
9. Hidalgo, G. M. (1990). Elementos que participan en la incidencia de accidentes de Tránsito. *Ciencias Penales No 2* , 43-51.

10. IRAP. (08 de Febrero de 2013). *<http://www.irap.org/about-irap/about-us>*.
Obtenido de International Road Assessment Programme (IRAP):
www.irap.org.
11. iRAP. (2009). *Star Rating Roads For Safety: The iRAP Methodology*.
Hampshire, UK: International Road Assessment Programme (iRAP).
12. Joshua, S. C., & Garber, N. J. (1990). Estimating truck accident rate and
involvements using linear and Poisson regression models. *Transportation
Planning and Technology* , 41-58.
13. Jovanis, P., & Chang, H. L. (1986). Modeling the relationship of accidents to
miles traveled. *Transportation Research Record* , 42-51.
14. Lawless, J. F. (1987). Negative binomial and mixed Poisson regression. *The
Canadian Journal of Statistics* , 209-225.
15. Lee, J., & Mannering, F. (2002). Impact of roadside features on the
frequency and severity of run-off-roadway accidents: an empirical analysis.
Accident Analysis and Prevention (34), 149–161.
16. Lopez Candela, C. R. (2010). *Metodología para la recolección y análisis de
información primaria como soporte al modelo de gestión de pavimentos en
la red vial de bucaramanga*. Bucaramanga, Colombia: Facultad de
ingenierías Fisicomecánicas, Universidad Industrial del Santander.
17. Miaou, S. P., & Lum, H. (1993). Modeling vehicle accidents and highway
geometric design relationships. *Accident Analysis and Prevention* , 689-709.
18. Mohamed A, A. A., & Essam, R. (2000). Modeling traffic accident
accurrence and involvement. *Accident Analysis and Prevention* , 633-642.
19. Observatorio de Movilidad. (2009). *Boletín de Accidentalidad Vial No2*.
Bogotá: Universidad de los Andes.

20. Okamoto, H., & Koshi, M. (1989). A method to cope with the random errors of observed accident rates in regression analysis. *Accident Analysis and Prevention* , 317-332.
21. Solminhac, T., Hidalgo, S., Salgado, T., & Valdés, F. (2003). *Calibración de modelos de comportamiento HDM de pavimentos asfálticos a las condiciones de Chile*. Chile: Estudio de Seguimiento de Pavimentos Asfálticos. Ministerio de Obras Públicas.
22. Solminihac, H. (2001). *Gestión de Infraestructura Vial* (Vol. 1). Santiago de Chile, Chile: Pontificia universidad católica de Chile.
23. Thenoux, G., & Halles, F. (2011). Metodología simplificada de priorización de conservación de pavimentos a nivel de red. *Revista Ingeniería de Construcción* , 17 (1), 35-43.
24. Universidad de los Andes. (08 de Febrero de 2013). Obtenido de Universidad de los Andes: <http://www.uniandes.edu.co/midiendo-calles>
25. Wong, Y. D., & Nicholson, A. (1992). Driver behavior at horizontal curves: risk compensation and the margin of safety. *Accident Analysis and Prevention* (24), 425-436.
26. Yip Chan, C., Huang, B., Yan, X., & Richards, S. (2009). Relationship Between Highway Pavement Condition, Crash Frequency, and Crash Type. *Journal of Transportation Safety & Security* , 268–281.

ANEXOS

Anexo 1. Manual de usuarios

USER MANUAL - SAAGEP

INSTRUCCIONES:

1. Instale el dispositivo en una motocicleta.
2. Inicie el dispositivo.
3. Haga el recorrido.
4. Extraiga los datos.
5. Cree archivo KMZ y visualice los datos

FAMILIARIZACIÓN CON EL DISPOSITIVO:

- Antes de usar el dispositivo lea el manual de usuario detenidamente.
- Compruebe que todos los componentes del dispositivo están en perfecto estado de funcionamiento antes de utilizarlo (ej. Para un recorrido o toma de datos) para evitar pérdida de información.
- Si utiliza un lector de tarjetas para copiar en la tarjeta de memoria del PC las imágenes, éstas podrían dañarse. Al transferir las imágenes tomadas con la cámara al PC, utilice el cable USB suministrado para conectar la cámara al PC.

RECOMENDACIONES GENERALES:

PELIGRO indica una situación peligrosa inminente que, si no se evita, provocará la muerte o heridas graves.

- No intente realizar ninguna modificación en este dispositivo. Podría causarle lesiones o un incendio, descargas eléctricas o daños al dispositivo.
- No utilice este producto cerca de gases inflamables o explosivos, pues esto podría aumentar el riesgo de una explosión.
- Si algún líquido u objeto extraño llegara a entrar en el dispositivo, no la use. Apague el dispositivo y enseguida desconecte la fuente de alimentación (las pilas o el Fuente de alimentación).
- No introduzca ni deje caer objetos metálicos o inflamables en el dispositivo a través de los puntos de acceso, por ejemplo, las ranuras de la tarjeta de

memoria, conexiones de los cables y de la batería. Puede causar un incendio o descargas eléctricas.

- No manipule el dispositivo con las manos mojadas. Esto podría presentar un riesgo de descarga eléctrica.
- No utilice el flash muy cerca de las personas o de los animales. Esto podría ocasionar problemas visuales.
- Por razones de seguridad, mantenga este producto y sus accesorios fuera del alcance de niños o de animales para evitar accidentes.
- Las baterías pueden calentarse si se usan durante un tiempo prolongado, lo que puede dar lugar a un mal funcionamiento del dispositivo. Si este es el caso, deje reposar el dispositivo por unos pocos minutos para permitir que se enfríe.
- No deje este dispositivo en lugares sujetos a temperaturas extremadamente altas, tales como un vehículo cerrado, luz directa del sol u otros lugares donde haya variaciones extremas de temperatura. La exposición a temperaturas extremas puede afectar de manera adversa los componentes internos del dispositivo y podría ocasionar un incendio.

CONTENIDO DEL MANUAL

GRAFICO DEL SISTEMA

Contenido del dispositivo

IDENTIFICACIÓN DE CARACTERÍSTICAS

Vista superior

Vista frontal y lateral.

Vista inferior

Vista lateral

COMO UTILIZAR EL MENÚ DE LA CÁMARA

INSTALACIÓN DEL DISPOSITIVO

Montaje del Riel

Montaje del dispositivo (SAAGEP)

Graduar ángulo de la Cámara Digital

AJUSTES

Formateado de Memoria de la cámara Digital

Apagado automático

Nombre de archivo

MODO DE USO DEL DISPOSITIVO

Preparación del Dispositivo

Uso del Dispositivo

Grafico del Sistema

Revise que estén todos los componentes antes de usar este producto. El aspecto de partes y accesorios pueden diferir de la ilustración abajo.

Contenido del Dispositivo



Riel Detector de Baches



Dispositivo SAAGEP



Camara Digital



Cable USB y Cargador
Para Camara Digital



Bateria 3.7v para
Camara Digital



Bateria 9.0V Para la
Alimentacion de Arduino



MicroSD Para Guardar
Datos del GPS



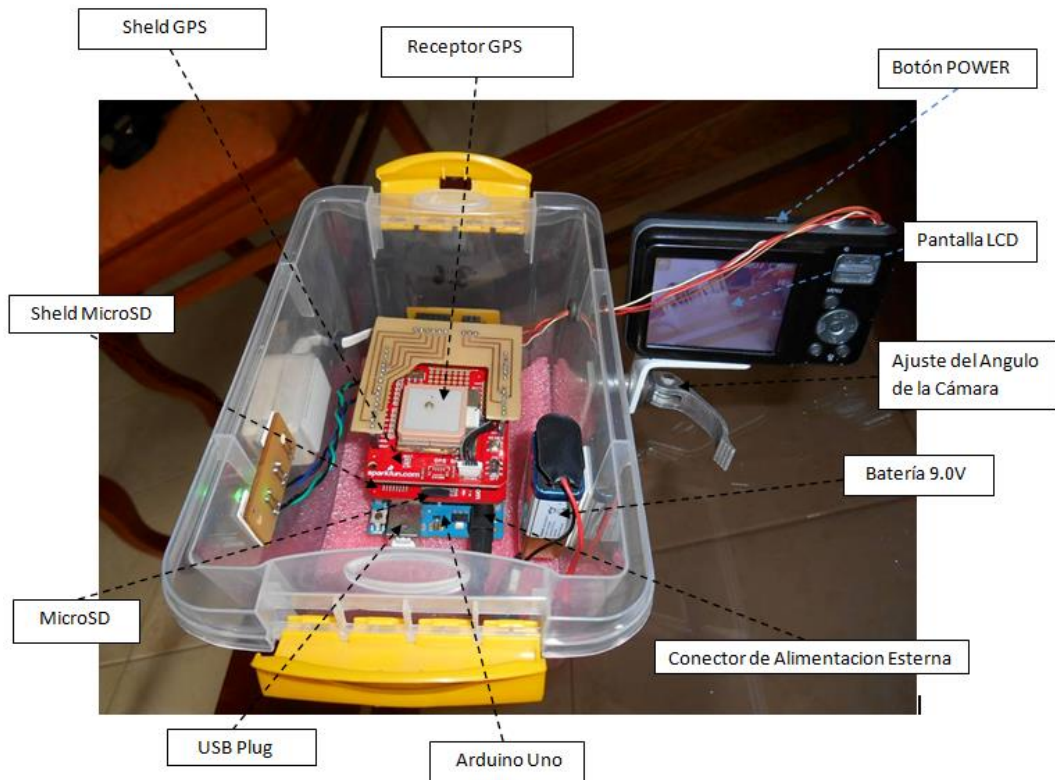
SD Camara Digital



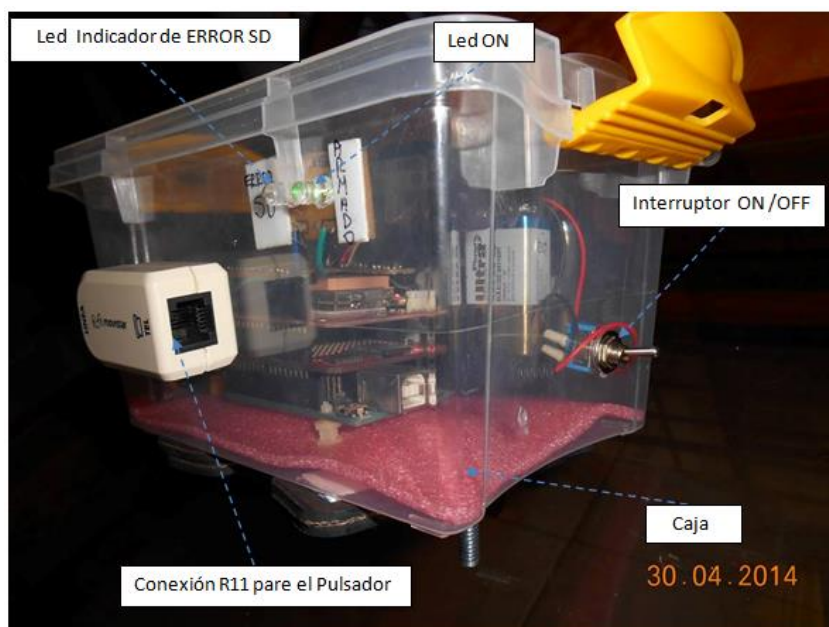
Cable R11 Para
Conexion del Riel

IDENTIFICACIÓN DE CARACTERÍSTICAS

Vista Superior



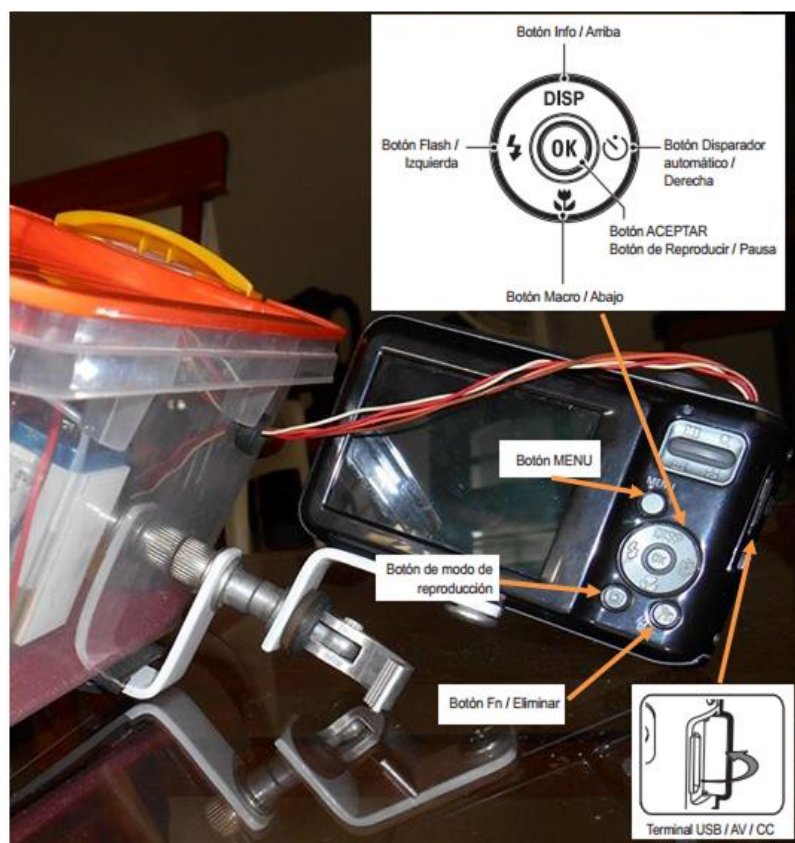
Vista Frontal y Lateral



Vista Inferior



Vista Lateral



INSTALACIÓN DEL DISPOSITIVO

Instalación del Riel.

Fije el riel al amortiguador delantero de la motocicleta usando las abrazaderas metálicas en este como se muestra en la figura; Use la abrazadera superior del Riel para ajustar el nivel de bajada del amortiguador.



Montaje del dispositivo (SAAGEP).

Use la base que se encuentran fijadas en la parte inferior del dispositivo para aferrarlo a la parrilla de la motocicleta. Apriete fuertemente las tuercas de este para así lograr un buen agarrare del dispositivo y evitar averías o daños al mismo, tenga en cuenta aferrar el dispositivo en la parte central de la parrilla logrando así un mejor ajuste del dispositivo. Como se muestra en la imagen.



Una vez hecho el montaje del Riel y el dispositivo haga la conexión entre estos por medio del cable R11 como se muestra en la imagen.



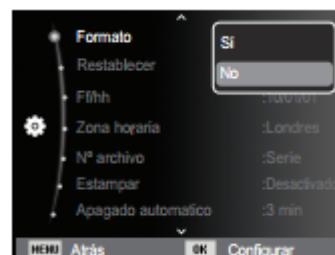
Graduar Angulo de la Cámara Digital

Use la palanca de ajuste para cuadrar el ajuste del ángulo de disparo de la cámara, para una óptima captura de imágenes de los daños.



AJUSTES

Formateado de Memoria de la Cámara Digital



Esto se utiliza para formatear la memoria. Si ejecuta [formato] en la tarjeta de memoria, se eliminarán todas las imágenes, incluidas las imágenes protegidas, asegúrese de descargar imágenes importantes a su PC antes de formatear la memoria.

- Submenús

[Si] : Se mostrara una ventana de confirmación de la selección. Seleccione el menú [Si]. Aparecerá el mensaje [Formateando] y la tarjeta de memoria se formateara. Si ejecuta FORMAT en el modo Reproducción, aparecerá el mensaje [El formateado ha analizado].

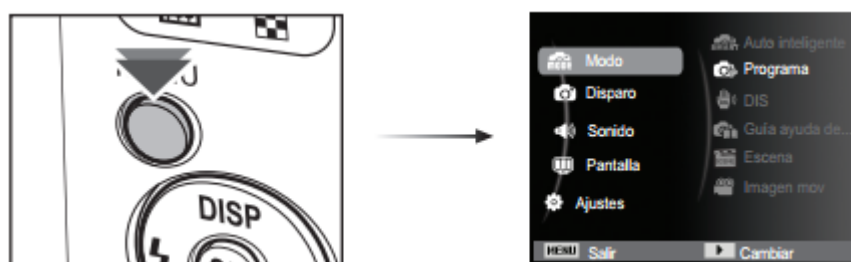
[No] : La tarjeta de memoria no se formateará.

Asegúrese de ejecutar [Formato] en los siguientes tipos de tarjeta de memoria.

- Una tarjeta de memoria nueva o sin formatear.
- Una tarjeta de memoria que tiene un archivo que esta cámara no puede reconocer o una que se haya sacado de otra cámara.
- Formatee siempre la tarjeta de memoria al utilizar esta cámara. Si inserta una tarjeta de memoria que se ha formateado utilizando otras cámaras, lectores de tarjetas de memoria o PC, recibirá el mensaje [¡err. tarjeta!].

COMO UTILIZAR EL MENÚ DE LA CÁMARA

1. Encienda la cámara y pulse el botón MENU. Aparecerá un menú para cada modo de la cámara.



2. Use los botones Arriba y Abajo para navegar por los menús.

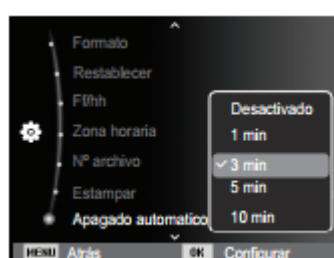


3. Use los botones Izquierda y Derecha para seleccionar el submenú.



4. Seleccione un submenú y haga clic en el botón de OK para guardar la configuración y volver a la ventana anterior.

Apagado Automático

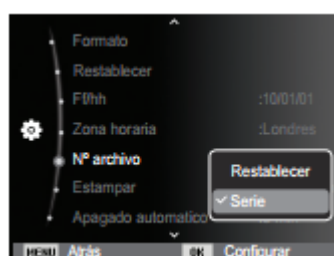


Esta función apaga la cámara después de un tiempo establecido para prevenir el desgaste innecesario de las pilas.

➤ Submenús

[Desactivado] : No se activará la función de apagado automático. [1 min], [3 min], [5 min], [10 min]. La cámara se apagará si no se utiliza durante el periodo de tiempo especificado.

Nombre de Archivo



Esta función permite al usuario seleccionar el formato de nombre de archivo.

[Restablecer] : Tras utilizar la función de restablecer, el siguiente nombre de archivo se configurará desde 0001 incluso después de formatear, eliminar todo o insertar una nueva tarjeta de memoria.

[Serie] : Se da nombre a los nuevos archivos utilizando números que siguen la secuencia anterior, aunque se utilice una tarjeta de memoria nueva o tras formatear o tras eliminar todas las imágenes.

- El primer nombre de carpeta almacenado es 100PHOTO y el primer nombre de archivo es SAM_0001.
- Los nombres de los archivos se asignan en secuencia desde SAM_0001 SAM_0002 ~ SAM_9999.
- El número de la carpeta se asigna secuencialmente de 100 a 999 de este modo: 100PHOTO 101PHOTO ~ 999PHOTO.
- El número máximo de archivos en una carpeta es 9999.
- Los archivos que se usan en la tarjeta de memoria siguen las normas del formato DCF (Norma de diseño para el sistema de archivos de cámaras). Si cambia el nombre del archivo de imagen, no se reproducirá la imagen anterior.

PREPARACION Y USO DEL DISPOSITIVO

Preparación del Dispositivo

Para un correcto funcionamiento del dispositivo antes debemos cumplir con ciertas condiciones para su uso:

1. No deben haber datos en la microSD donde se almacenar los datos recolectados por el dispositivo. Se recomienda formatear con formato Fat32 la microSD para un correcto uso de la misma.
2. No debe haber imágenes o archivos guardados en la SD de la cámara. Se recomienda formatear la memoria en la misma cámara para evitar errores de guardado.
3. Restablezca el nombre de archivos cada vez que use el dispositivo. Esto evita numeración falsa de imágenes capturadas.
4. Desactive la función de apagado automático de la cámara digital. Esto evitara que la cámara se apague cuando esté haciendo un recorrido.
5. Verifique que las baterías tanto de la cámara como el dispositivo tengan carga completa.

Uso del Dispositivo

A continuación se explica cómo se utiliza el dispositivo detalladamente.

Una vez instalado el dispositivo correctamente en la motocicleta inicie el dispositivo. Para iniciar el dispositivo haga uso del interruptor que se encuentra en la parte frontal del dispositivo.



Una vez iniciado el dispositivo indicara su estado, para saber el estado del dispositivo observe los leds de estado que se encuentran a un costado del dispositivo:



- Led verde [ARMADO]: Si el led verde esta encendido significa que el dispositivo ha iniciado correctamente.
- Led azul [ERROR SD]: Si el led azul se encuentra parpadeando esto indica que hay un error de inicialización en la MicroSD. Asegúrese de que la microSD se encuentra correctamente instalada en la ranura de la microSD Sheld.

Una vez este inicializado y comprobado en correcto estado del dispositivo encienda la cámara digital, para ello presione el botón ON de la cámara.



Nota: Asegúrese de haber borrado los datos de la memoria SD y de restablecer el nombre de archivos de la cámara antes de iniciar el dispositivo.

Ahora ya podrá iniciar el trayecto para la recolección de información de daños en las vías, una vez finalizado el recorrido apague el dispositivo y retire la microSD y la SD de la cámara para obtener los datos capturados.

Una vez tengamos el archivo con los datos (SAAGEP.SCV) nos iremos a **www.gpsvisualizer.com**. Es una web gratuita que nos permite convertir datos GPS en archivos o enlaces a distintos tipos de aplicaciones o webs de mapas. A continuación se explicara como importar esos datos para Google Earth:

1. Vamos a **http://www.gpsvisualizer.com/map_input?form=googleearth**
2. Lo configuramos de la siguiente forma

General map parameters [show advanced options \[+\]](#)

Output file type: Units:

Google Earth doc name:

Add DEM elevation data:

Time offset: hrs Add time stamps, if possible:

Track options [show advanced options \[+\]](#)

Track opacity: Line width:

Colorize by: Default color:

Altitude mode:

Draw a shadow: Tickmark interval:

Trackpoint distance threshold: Max. points per track:

Draw as waypoints:

Name template: Desc. template:

Waypoint options [show advanced options \[+\]](#)

Waypoint labels:

Default icon: Icon color:

Show waypoints:

Altitude mode:

Contact information

Your e-mail:

This is for impromptu tech support, NOT a mailing list!

Upload your GPS data files here: ?
(Total size of all files cannot exceed 3 MB)

File #1 SAAGEP.CSV

File #2 Ningún archivo seleccionado

File #3 Ningún archivo seleccionado

[Show additional file input boxes](#)

Or paste your data here: ?

Force plain text to be this type:

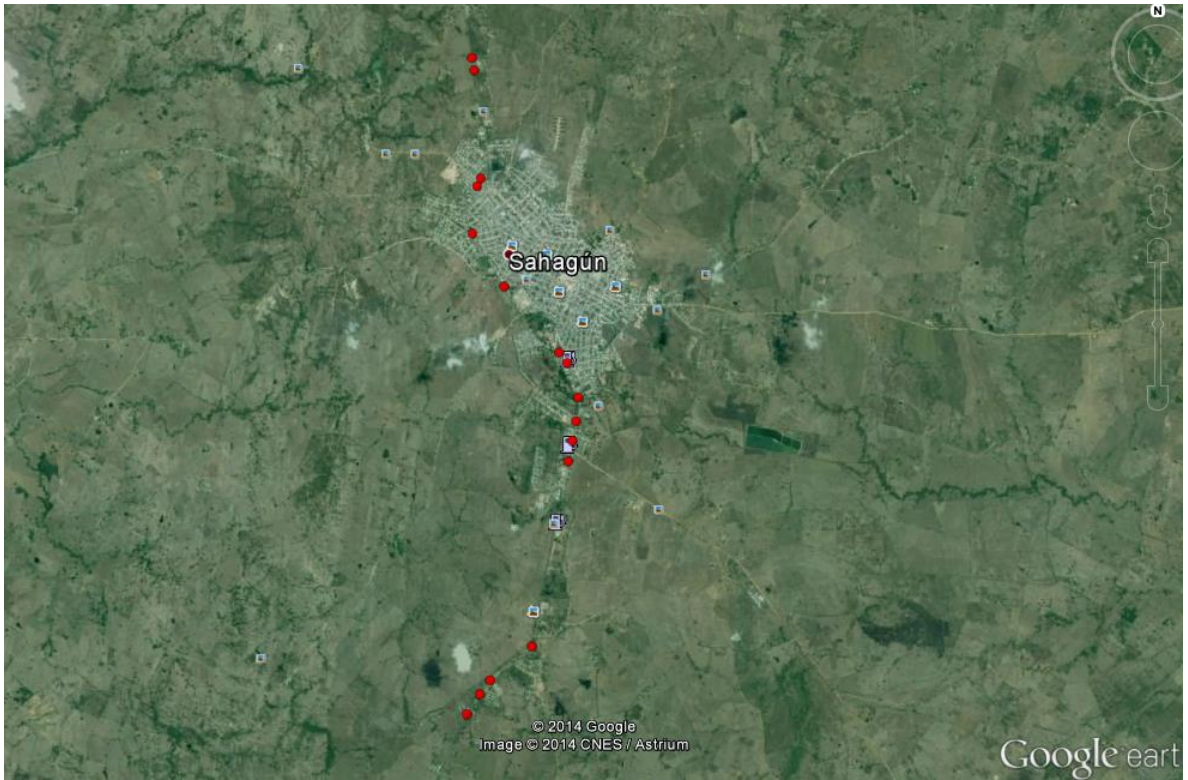
Or provide the URL of data on the Web:

☒ Open in new window

En Desc. template introducimos sin comillas "Imagen: <![CDATA[{imagen} Latitud: {lat}º Longitud: {long}º". Esto nos permitirá en cada punto tener todos los datos. El nombre entre {} es la variable de cada columna de nuestro archivo. Si se preguntan para qué es esta parte, (Imagen: <![CDATA[{imagen}) es para poder acceder a las imágenes directamente desde nuestro ordenador; en este ejemplo le indicamos que las imágenes se encuentran en una carpeta llamada baches que está alojada en el disco local C.

No olvide cargar el archivo con las coordenadas y le damos en el botón "Create KML file" esto nos creará el archivo KMZ y lo descargamos y lo abrimos con Google Earth.

Este es el resultado ya se puede ver los datos como los queremos.



Anexo 2. Código del sistema

```
/* CARGA DE LIBRERIAS */
#include <SD.h>
#include <SoftwareSerial.h>
#include <TinyGPS.h>
TinyGPS gps; // Instancia de la clase GPS
SoftwareSerial ss(2, 3); //Instancia de
la clase Software serial que crea un
puerto serial virtual
const int chipSelect = 8; //Indicador
del tipo de tarjeta SD
int imagen = 0; // Contador de imágenes
int errorSD = 4; // Pin de salida que
muestra si hubo error en la tarjeta SD o
al escribir datos
int enfoque = 5; // pin de salida que
prepara el enfoque de la cámara digital
int disparo = 6; // pin de salida que
realiza el disparo de la cámara digital
/***** BLOQUE DE CONFIGURACION *****/
void setup()
{ Serial.begin(115200);
  ss.begin(4800);
  pinMode(9, OUTPUT); // iniciador ON
  pinMode(12, INPUT); //Configura el pin
12 como entrada del switch
  pinMode(enfoque, OUTPUT); // salida
digital para ENFOQUE de la cámara
  pinMode(disparo, OUTPUT); // salida
digital para DISPARO de la cámara
  pinMode(errorSD, OUTPUT); // salida
digital para ERROR de tarjeta SD
  Serial.print("Simple TinyGPS library v.
");
  Serial.println(TinyGPS::library_version()
); //Mensaje de salida de librería
  Serial.println("Modulo GPS SAAGEP");
  Serial.println();
  Serial.print("Iniciando tarjeta
SD...");
  // Con esta instrucción se asegura que el
pin de salida este configurado
  pinMode(10, OUTPUT);
  // Se comprueba que la tarjeta esta
iniciada y se puede acceder a ella
  if (!SD.begin(chipSelect)) {
    Serial.println("Tarjeta Fallo, o no
está presente");
    // Si no sirve, hasta aquí llega:
    // Como la tarjeta Fallo o no esta
insertada, entra en el siguiente bucle
infinito
    // Que lo único que hace es prender y
apagar el led errorSD.
    while(true){
      digitalWrite(errorSD, HIGH);
      delay(500);
      digitalWrite(errorSD, LOW);
      delay(500);
    }
    Serial.println("Tarjeta Iniciada.");
    // Abre el archivo de registro y si no
existe lo crea
    File logFile = SD.open("SAAGEP.csv",
FILE_WRITE);
    if (logFile)
    {
      // Crea una cabecera para introducir al
archivo y escribe en ella
      String header = "Imagen, Latitud,
Longitud";
      logFile.println(header);
      logFile.close();
      Serial.println(header);
    }
    else
    {
      Serial.println("No se pudo abrir el
archivo de registro");
      // Como la lectura del archivo fallo,
entra en el siguiente bucle infinito
      while(true){
        digitalWrite(errorSD, HIGH);
        delay(500);
        digitalWrite(errorSD, LOW);
        delay(500);
      }
    }
  }
  /***** INICIO DEL PROGRAMA *****/
  void loop()
  {
    digitalWrite(9, HIGH);
    bool newData = false;
    if(digitalRead(12) == LOW){ //esta
línea es importante, pues con ella,
preguntas si se activó el switch
//en la línea se pregunta si el pin de
switch se ha presionado.
    // Código que permite activar el monitor
serial
    for (unsigned long start = millis();
millis() - start < 1000;)
    {
      while (ss.available())
      {
        char c = ss.read();
        if (gps.encode(c))
          newData = true;
      }
    }
    if (newData)
    {
```

```

//Código de enfoque y de disparo de la
cámara
//se hace antes que cualquier cosa para
darle tiempo al GPS
//de escribir en la microSD
    digitalWrite(enfoque, HIGH);
    delay(1500);
    digitalWrite(disparo, HIGH);
    delay(500);

    String dataString = "";
// Inicia una cadena que contendrá el
nombre de la imagen que será de tipo:"
SAM_" + #imagen + ".JPG"
// y después concatena todo
//Con estos Condicionales se establece
que el archivo de imagen siempre sea de
la forma
// SAN_xxxx.JPG
// Es decir de 4 dígitos
    if (imagen < 10 ){
        dataString = " SAM_000";
    }else if ((imagen >= 10) && (imagen <
100) ){
        dataString = " SAM_00";
    }else if ((imagen >= 100) && (imagen
< 1000) ){
        dataString = " SAM_0";
    }else if((imagen >= 1000)){
        dataString = " SAM_";
    }
dataString += String(imagen) ;
dataString += ".JPG";
float flat, flon; // Inicio de
variables que contienen los valores de
Latitud y Longitud

    gps.f_get_position(&flat, &flon); //
Método que obtiene el valor de Latitud y
Longitud
// Estos comandos muestran en el monitor
serial, el nombre de las imágenes, la
latitud y la Longitud
    Serial.print(dataString);
    Serial.print(",");
    Serial.print(flat ==
TinyGPS::GPS_INVALID_F_ANGLE ? 0.0 :
flat, 6);
    Serial.print(",");
    Serial.println(flon ==
TinyGPS::GPS_INVALID_F_ANGLE ? 0.0 :
flon, 6);

//De aquí en adelante empieza el código
que escribe en la tarjeta SD
    File dataFile = SD.open("SAAGEP.csv",
FILE_WRITE); //Abre el archivo de
registro en donde se escribirán todos los
datos
    if (dataFile) { // Si el archivo fue
abierto con éxito realiza lo siguiente:
        dataFile.print(dataString); //
escribe el nombre de la imagen en el
archivo
        dataFile.print(","); // Lo separas
con una coma
        dataFile.print(flat ==
TinyGPS::GPS_INVALID_F_ANGLE ? 0.0 :
flat, 6); // escribe el valor de la
latitud en el archivo
        dataFile.print(","); // Lo separas
con una coma
        dataFile.println(flon ==
TinyGPS::GPS_INVALID_F_ANGLE ? 0.0 :
flon, 6); // escribe el valor de la
longitud en el archivo
        dataFile.close(); // Cierra el
archivo
        imagen++; // Incrementa el valor de
la imagen para que corresponda con el
siguiente de la cámara.
    }
// Si el archivo no se logró abrir,
manda un error
    else {
        Serial.println("error al abrir el
archivo de registro");
// Como la lectura del archivo fallo,
entra en el siguiente bucle infinito
        while(true){
            digitalWrite(errorSD, HIGH);
            delay(500);
            digitalWrite(errorSD, LOW);
            delay(500);
        }
    }
}
}
}

```